

**MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE  
2019/2020**

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE UM FRIGORÍFICO**

**STEFANIA COROMOTO SOUSA DE ABREU**

Dissertação submetida para obtenção do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE**

**Presidente do Júri:** Cidália Maria de Sousa Botelho  
(Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Engenharia da  
Universidade do Porto)

---

**Orientador académico:** Belmira de Almeida Ferreira Neto  
(Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Faculdade  
de Engenharia da Universidade do Porto)

**Orientador na empresa:** Carla Gonçalves  
(Diretora Geral da WEECYCLE - Associação de Produtores de EEE)

*Setembro, 2020*

## RESUMO

Com o decorrer dos anos, o setor de fabrico de equipamentos de refrigeração tem desenvolvido estratégias e alternativas no sentido de minimizar os impactes ambientais que estão associados aos seus processos e produtos.

Este estudo tem como principal objetivo aplicar a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida para avaliar o impacte ambiental associado às etapas de produção de um dos frigoríficos mais comercializados da empresa portuguesa Olitrem S.A.. O modelo do frigorífico alvo de estudo é o ARV400 SC PV Softline, o qual é utilizado no setor comercial e industrial. Com a presente dissertação pretende-se identificar algumas medidas que possam contribuir para a diminuição do impacte ambiental durante a fabricação do equipamento.

A informação usada foi disponibilizada pela empresa parceira neste trabalho, Olitrem S.A.. A restante informação necessária à Avaliação do Ciclo de Vida foi recolhida na bibliografia e bases de dados disponíveis. As etapas consideradas na avaliação dos impactes ambientais incluem a extração e produção dos recursos, produção dos componentes, fabricação, transporte externo e interno e utilização. Segundo a metodologia de ACV, os dados referentes a cada uma das etapas incluídas no sistema são inventariados com base na identificação e quantificação das emissões de poluentes e consumo de recursos associados.

Assim, para cada uma das etapas são quantificados os impactes ambientais e analisadas as categorias de impacte associadas, com recurso ao *software SimaPro* versão 8.5.2 (*Pré Consultants*, 2017), sendo usada a metodologia de avaliação de impactes *CML-IA baseline* (versão 3.04) para a etapa metodológica da Classificação e Caracterização. Desta forma, são quantificadas onze categorias de impacte ambiental, nomeadamente a Depleção Abiótica, Depleção Abiótica (combustíveis fósseis), Aquecimento Global (100 anos), Depleção da Camada de Ozono, Toxicidade Humana, Ecotoxicidade da Água Doce, Ecotoxicidade Marinha, Ecotoxicidade Terrestre, Oxidação Fotoquímica, Acidificação e Eutrofização.

Os resultados obtidos demonstram que as fases com maior contribuição para o impacte ambiental são as etapas de utilização e extração e produção dos recursos, seguidas da fabricação, do transporte e da produção dos componentes. As principais fontes de poluentes são o consumo de energia elétrica proveniente, principalmente, da queima de combustíveis fósseis e a produção das chapas galvanizadas, chapas plastificadas com PVC, porta de vidro e espuma de poliuretano. Estes resultados permitem identificar e avaliar os processos críticos associados ao ciclo de vida do equipamento, indicando a necessidade de estudo de alternativas que permitam reduzir os impactes ambientais gerados.

*Página em branco*

## ABSTRACT

Over the years, the refrigeration equipment manufacturing sector has developed strategies and alternatives to minimize the environmental impacts that are associated with their processes and products.

This study main objective is to apply the methodology of Life Cycle Assessment to evaluate the environmental impact associated with the life cycle of one of the most commercialized refrigerators of the Portuguese company Olitrem S.A.. The model of the refrigerator under study is the ARV400 SC PV Softline, which is used in the commercial and industrial sector. This dissertation pretends to identify some measures that can contribute to reduce the environmental impact during the manufacture of the equipment.

The information used was provided by the partner company in this work, Olitrem S.A.. The remaining information necessary for the Life Cycle Assessment was collected in the bibliography and available databases. The evaluation of the environmental impacts includes the extraction and production of resources, production of components, manufacturing, external and internal transport and use. According to the LCA methodology, the data referring to each of the stages included in the system are inventoried based on the quantification of the pollutant emissions and consumption of resources.

For each phase, the environmental impacts are quantified and the associated impact categories are analyzed, using the SimaPro software version 8.5.2 (Pré Consultants, 2017) and the CML-IA baseline impact assessment methodology (version 3.04) for the methodological step of Classification and Characterization. In this way, eleven categories of environmental impact are quantified: Abiotic Depletion, Abiotic Depletion (fossil fuels), Global Warming (100 years), Ozone Layer Depletion, Human Toxicity, Freshwater Ecotoxicity, Marine Ecotoxicity, Terrestrial Ecotoxicity, Photochemical Oxidation, Acidification and Eutrophication.

The results show that the phases with the greatest contribution to the environmental impact are the phases of use and extraction and production of resources, followed by the manufacture, transport and production of the components. The main sources of pollutants are the electric energy consumption, mainly from fossil resources and the production of galvanized sheets, sheets laminated with PVC, glass door and polyurethane foam. These results allow to identify and evaluate the critical processes associated with the life cycle of these equipment, indicating the need to study alternatives that allow to reduce the environmental impacts generated.

*Página em branco*

# AGRADECIMENTOS

A realização da presente dissertação só foi possível com o apoio de várias pessoas. O meu muito obrigado.

À Professora Belmira Neto pela sua dedicação como orientadora, simpatia e disponibilidade.

À WEEECYCLE e à Olitrem S.A. por me terem concedido a oportunidade de realizar esta dissertação.

Às Engenheiras Carla Gonçalves e Carolina Duque pelo acompanhamento, ajuda e simpatia ao longo deste trabalho.

À Engenheira Ana Ferreira pela sua simpatia, colaboração e disponibilidade.

Aos meus pais e irmã por estarem sempre presente, por todo o amor, preocupação e apoio constante e incondicional.

À Rafaela Silva e Tiago Monteiro pela amizade desde o nosso primeiro dia de aulas na FEUP.

À Isabella Tomasi pela ajuda e apoio prestado durante a realização da dissertação.

*Página em branco*

# ÍNDICE

ABREVIATURAS .....	13
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1 ENQUADRAMENTO .....	14
1.2 OBJETIVOS DA TESE .....	16
1.3 ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA TESE .....	16
<b>2. EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ELETRÓNICOS E O AMBIENTE .....</b>	<b>18</b>
2.1 INTRODUÇÃO .....	18
2.2 DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS FRIGORÍFICOS .....	21
2.2.1 CARACTERIZAÇÃO DO FRIGORÍFICO EM ESTUDO .....	22
2.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA .....	24
2.3.1 REFERÊNCIAS NORMATIVAS USADAS EM ESTUDOS DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA .....	24
2.3.2 METODOLOGIA USADA NA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA .....	24
2.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE ESTUDOS DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO FRIGORÍFICO .....	26
<b>3. PROCESSO DE PRODUÇÃO DO FRIGORÍFICO .....</b>	<b>30</b>
3.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA PRODUTORA DO FRIGORÍFICO E DA ENTIDADE GESTORA DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ELETRÓNICOS .....	30
3.2 O CICLO DE VIDA DO FRIGORÍFICO .....	32
3.2.1 EXTRAÇÃO E PRODUÇÃO DOS RECURSOS .....	32
3.2.1.1 AÇO .....	33
3.2.1.2 CHAPAS GALVANIZADAS .....	33
3.2.1.3 CHAPAS PLASTIFICADAS COM PVC .....	34
3.2.1.4 PORTA DE VIDRO .....	35
3.2.1.5 POLÍMERO HIPS 8260 .....	35
3.2.1.6 ESPUMA DE POLIURETANO .....	36
3.2.1.7 LÍQUIDO DE REFRIGERAÇÃO R600a .....	37
3.2.1.8 PRATELEIRAS DE AÇO PLASTIFICADO COM POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE .....	37
3.2.2 PRODUÇÃO DOS COMPONENTES DO FRIGORÍFICO .....	38
3.2.2.1 CONFORMAÇÃO METÁLICA .....	38
3.2.2.2 TERMOFORMAÇÃO DOS PLÁSTICOS .....	39
3.2.3 FABRICAÇÃO .....	40
3.2.3.1 SUBMONTAGEM DE INTERIORES E EXTERIORES .....	40
3.2.3.2 INJEÇÃO DE ESPUMA DE POLIURETANO .....	42
3.2.3.3 MONTAGEM DE ACESSÓRIOS .....	42
3.2.3.4 MONTAGEM DO CIRCUITO ELÉTRICO .....	43
3.2.3.5 ACOPLAMENTO .....	43
3.2.3.6 MONTAGEM E CONTROLO FINAL .....	45
3.2.3.7 LIMPEZA .....	45
3.2.3.8 EMBALAGEM .....	45
3.2.4 TRANSPORTE .....	47
3.2.5 UTILIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO .....	48
3.2.6 ETAPAS DE FIM DE VIDA .....	48
3.2.6.1 EM PORTUGAL .....	48
3.2.6.2 EM OUTROS PAÍSES .....	50



<b>4.</b>	<b>METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO FRIGORÍFICO .....</b>	<b>52</b>
4.1	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO FRIGORÍFICO .....	52
4.1.1	DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ÂMBITO.....	52
4.1.2	UNIDADE FUNCIONAL E FRONTEIRAS DO SISTEMA .....	52
4.2	ANÁLISE DO INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA .....	55
<b>5.</b>	<b>AVALIAÇÃO DOS IMPACTES AMBIENTAIS.....</b>	<b>59</b>
5.1	RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE IMPACTES AMBIENTAIS .....	59
5.2	IDENTIFICAÇÃO DE MEDIDAS DE PREVENÇÃO E AÇÕES PARA DIMINUIR O IMPACTE AMBIENTAL .....	64
<b>6.</b>	<b>LIMITAÇÕES, CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS.....</b>	<b>65</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>67</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>71</b>
	<b>ANEXO A .....</b>	<b>72</b>
	<b>ANEXO B .....</b>	<b>74</b>
	<b>ANEXO C .....</b>	<b>80</b>
	<b>ANEXO D .....</b>	<b>83</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. EEE colocados no mercado e REEE recolhidos e tratados, UE-28, 2010-2016 [5].....	15
Figura 2. Funcionamento de um frigorífico [21]. .....	21
Figura 3. Armário de refrigeração ARV400 SC PV Softline produzido pela empresa Olitrem S.A. [7]. .....	23
Figura 4. Etapas da metodologia da Avaliação de Ciclo de Vida definidas na NP EN ISO 14040: 2006 [26]. .....	25
Figura 5. Fluxograma do ciclo de vida do frigorífico ARV400 SC PV Softline [7]. .....	32
Figura 6. Fluxograma da fabricação do HIPS [50]. .....	36
Figura 7. Equipamento de conformação metálica. ....	38
Figura 8. Funil de alimentação da máquina extrusora de plástico.....	39
Figura 9. Placa de poliestireno extrudida. ....	39
Figura 10. Molde de alumínio. ....	40
Figura 11. Robot de corte. ....	40
Figura 12. Chapas laterais do equipamento [7]. ....	41
Figura 13. Componentes metálicos do equipamento unidos [7]. ....	41
Figura 14. Cuba do frigorífico [7]. ....	42
Figura 15. Cuba encaixada no exterior do armário [7]. ....	42
Figura 16. Placa de montagem da base da máquina do frigorífico em estudo.....	43
Figura 17. Circuito elétrico do frigorífico. ....	43
Figura 18. Digital do frigorífico [7]. ....	44
Figura 19. Iluminação LED no teto do frigorífico [7]. ....	44
Figura 20. Proteção da placa evaporadora [7]. ....	44
Figura 21. Colocação da porta de vidro ao armário [7]. ....	44
Figura 22. Ligação dos componentes elétricos ao compressor [7]. ....	45
Figura 23. Soldagem a cobre [7]. ....	45
Figura 24. Prateleiras do frigorífico [7]. ....	46
Figura 25. Autocolante indicativo do local do puxador [7]. ....	46
Figura 26. Autocolante relativo ao gás inflamável e placa de características [7]. ....	46

Avaliação do Ciclo de Vida de um Frigorífico

Figura 27. Frigorífico embalado [7].....	46
Figura 28. Fluxograma das atividades de fim de vida dos frigoríficos em Portugal [6]. .....	49
Figura 29. Fronteiras do sistema em estudo. ....	53
Figura 30. Componentes do frigorífico, em percentagem. ....	54
Figura 31. Impactes ambientais associados ao frigorífico usando a metodologia <i>CML-IA baseline</i> (versão 3.04).....	60
Figura A-1 Dimensões do armário de refrigeração [7].....	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação dos EEE [10] .....	19
Tabela 2. Efeitos na saúde humana originados por substâncias perigosas presentes nos EEE [Adaptado de Ferreira, 2015 [14]] .....	19
Tabela 3. Revisão de estudos de ACV aplicados a vários tipos de frigoríficos domésticos fabricados em diferentes países.....	28
Tabela 4. Localização do fornecedor e tipo de transporte das matérias-primas.....	47
Tabela 5. Localização da empresa de reciclagem e da Entidade Gestora e tipo de transporte dos resíduos .....	48
Tabela 6. Componentes extraídos no desmantelamento dos frigoríficos em Portugal [6].....	50
Tabela 7. Atividades de fim de vida dos componentes dos frigoríficos no Equador [29] .....	50
Tabela 8. Atividades de fim de vida dos componentes de um frigorífico doméstico na China [30].....	51
Tabela 9. Inventário do ciclo de vida, expresso em função da Unidade Funcional .....	55
Tabela 10. Potencial de aquecimento global do R134a e R600a .....	58
Tabela 11. Impactes ambientais associados ao ciclo de vida do frigorífico e qual a sua contribuição para cada categoria de impacte .....	61
Tabela B-1. Materiais utilizados na produção do frigorífico [7] .....	75
Tabela C-1. Especificações das chapas antes do corte [7] .....	81
Tabela C-2. Especificações das peças depois do corte [7] .....	82
Tabela D-1. Distância percorrida de cada material para cada destino e peso.....	84

# ABREVIATURAS

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
CFC	Clorofluorcarboneto
DGAE	Direção-Geral da Administração Escolar
EEE	Equipamentos Elétricos e Eletrónicos
GPL	Gás de petróleo liquefeito
GWP	<i>Global Warming Potential</i>
HC	Hidrocarboneto
HCFC	Hidroclorofluorcarboneto
HFC	Hidrofluorcarboneto
HIPS	Poliestireno de alto impacto
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LED	<i>Light-emitting diode</i>
PEBD	Polietileno de baixa densidade
PMDI	Poli metil difenil diisocianato
PS	Poliestireno
PVC	Policloreto de vinilo
REEE	Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos
TDI	Tolueno diisocianato
UE	União Europeia
UF	Unidade Funcional

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 ENQUADRAMENTO

Com o desenvolvimento das sociedades a evolução do Homem tem sido influenciada pelo desenvolvimento da tecnologia. Hoje em dia, os dispositivos elétricos e eletrônicos são essenciais na sociedade contemporânea.

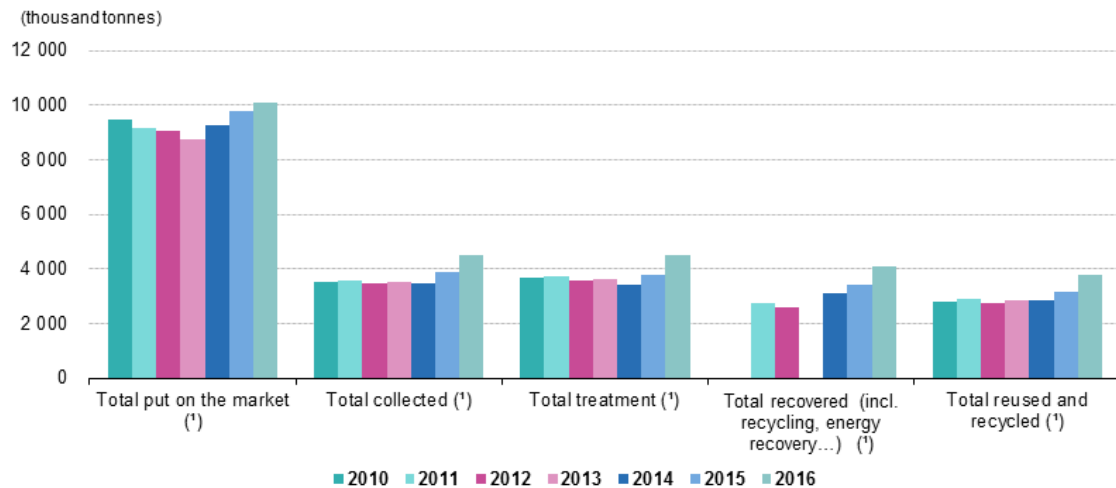
A produção de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (EEE) é uma das atividades que apresenta um crescimento exponencial, pois este tipo de equipamentos são elemento-chave na vida das pessoas. Estima-se que cada cidadão norte-americano possui nas suas habitações mais de 24 equipamentos eletrônicos [1].

Atualmente, a produção e comercialização dos EEE está relacionada com o avanço tecnológico, as funções *smart* e o *marketing* comercial. Estas características, associadas a questões de estética e de moda, acentuaram a procura dos EEE e diminuíram o seu tempo de vida útil.

Dados sobre a produção de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) a nível global estimam que em 2016, foram produzidas 44,7 Mt, o equivalente a 6,1 kg/habitante. Estes REEE constituem de 1 a 3% do total dos resíduos urbanos produzidos globalmente. Na verdade, este fluxo de resíduos é o que possui maior crescimento no mundo, com uma taxa de crescimento anual de 3 a 5% [2]-[4].

A Figura 1 discrimina a quantidade de EEE colocados no mercado e os REEE recolhidos e tratados nos países da União Europeia (UE) no período de 2010-2016.

## Avaliação do Ciclo de Vida de um Frigorífico



(¹) Including Eurostat's estimates.

Figura 1. EEE colocados no mercado e REEE recolhidos e tratados, UE-28, 2010-2016 [5].

Através da Figura 1 observa-se que nos últimos anos, apesar do crescimento na quantidade de EEE colocados no mercado, tem-se verificado um aumento na recolha e na valorização (reutilização, reciclagem e valorização energética) dos REEE. Em muitos casos, os REEE são depositados em aterros sem ter sido realizada uma valorização prévia, contudo, devido à crescente preocupação ambiental e cumprimento da legislação, tem-se verificado uma gestão mais sustentável destes resíduos. A gestão eficiente dos REEE contribui para o desenvolvimento da economia circular, promovendo oportunidades de negócio, otimização de custos, a correta remoção das substâncias perigosas e valorização de materiais, minimizando assim os efeitos negativos na saúde humana e no ambiente.

Em relação aos frigoríficos, os valores para Portugal indicam que, em 2019, foram colocadas no mercado 28.570 toneladas destes equipamentos, sendo que foram recolhidas, pelas Entidades Gestoras licenciadas, cerca de 34.980 toneladas. No que concerne à Olitrem S.A., a empresa parceira neste trabalho, no mesmo ano, a empresa fabricou 22.570 frigoríficos, dos quais 57% foram exportados. Nesse mesmo ano, foram produzidos 846 frigoríficos do modelo ARV400 SC PV Softline, modelo que será o foco de estudo deste trabalho [6], [7].

Os frigoríficos contêm materiais que podem ser reutilizados ou reciclados, no entanto, também possuem substâncias perigosas (alguns deles possuem ainda clorofluorcarbonetos - CFCs e hidroclorofluorcarbonetos - HCFCs) que podem ser prejudiciais para a saúde humana e para o ambiente se não forem recolhidas e tratadas adequadamente. Por outro lado, durante o uso deste equipamento associa-se um grande consumo de eletricidade proveniente, principalmente, dos combustíveis fósseis. Sendo notório o crescimento do mercado dos frigoríficos, torna-se relevante realizar estudos de avaliação ambiental associados a estes equipamentos, de forma a identificar e promover a minimização dos seus impactos e produzir frigoríficos mais sustentáveis.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) permite identificar os problemas ambientais associados a cada uma das etapas que ocorrem no ciclo vida de um produto ou serviço. Esta metodologia avalia as entradas e saídas de materiais e energia e quantifica os potenciais impactes causados pelo uso de recursos naturais e a emissão de poluentes no ambiente e na saúde humana, possibilitando a identificação de oportunidades de melhoria do desempenho ambiental dos produtos/serviços.

## **1.2 OBJETIVOS DA TESE**

O presente estudo tem como principal objetivo avaliar os impactes ambientais associados à produção de um dos frigoríficos mais comercializados da empresa Olitrem S.A. (o modelo ARV400 SC PV Softline).

A metodologia usada é a Avaliação do Ciclo de Vida, a qual possui uma abordagem que permite avaliar os impactes ambientais desde a extração e produção dos recursos até à utilização do frigorífico. Assim, as etapas avaliadas compreendem a extração e produção dos recursos, produção dos componentes, fabricação, transporte interno e externo e utilização. Uma vez que o foco da dissertação é avaliar as etapas associadas à produção do frigorífico, a etapa de fim de vida foi excluída do presente estudo.

Os objetivos do presente trabalho são definidos de modo a constituir um contributo para a avaliação dos impactes ambientais associados ao ciclo de vida de um frigorífico produzido em Portugal. Desta forma, espera-se que os resultados obtidos sejam relevantes para a empresa produtora do frigorífico, de forma a identificar medidas e ações de prevenção a adotar no processo produtivo para diminuir o seu impacte ambiental.

Sempre que possível, os resultados obtidos são discutidos por comparação com os disponíveis na revisão bibliográfica realizada para equipamentos similares. Espera-se que a presente dissertação incentive a realização de novos estudos para frigoríficos, de modo a que no mercado sejam disponibilizados cada vez mais equipamentos com menor impacte ambiental ao longo do seu ciclo de vida.

## **1.3 ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA TESE**

De acordo com os objetivos propostos para este trabalho, a dissertação encontra-se dividida em seis capítulos.

Neste primeiro capítulo apresenta-se o enquadramento da dissertação, os objetivos e a estrutura e organização da tese.



No capítulo 2 é realizada uma contextualização sobre os Equipamentos Elétricos e Eletrónicos. São descritos também os diferentes tipos de frigoríficos que existem no mercado, tendo em consideração o frigorífico alvo de estudo. Este capítulo também define a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida com base nas normas ISO 14040 e 14044, que identificam os princípios e a estrutura associados a esta metodologia. Por último, é feita a revisão bibliográfica de estudos focando a Avaliação do Ciclo de Vida de frigoríficos domésticos.

O capítulo 3 apresenta uma breve descrição da empresa Olitrem S.A. - Indústria de refrigeração e da Entidade Gestora WEEECYCLE - Associação de Produtores de EEE. São também descritas as etapas associadas ao ciclo de vida do equipamento, desde a extração e produção dos recursos até às diferentes atividades de fim de vida que são realizadas em Portugal. Também são identificadas as atividades de fim de vida de alguns dos países analisados na revisão bibliográfica, nomeadamente Equador e China.

O capítulo 4 descreve a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida, tendo como ponto de partida a definição do objetivo e âmbito deste estudo, a Unidade Funcional (UF) e as Fronteiras do sistema. Em seguida, é realizada a análise do inventário das entradas e saídas de energia e materiais para cada fase do ciclo de vida analisada. O inventário das entradas e saídas é elaborado com base em informação obtida através da bibliografia e bases de dados existentes, bem como das empresas referidas anteriormente. Inclui ainda uma análise, de forma a avaliar a influência de alguns parâmetros usados na modelação considerados significativos para o impacto ambiental.

O capítulo 5 apresenta os resultados para as categorias de impacto ambiental associadas aos dados recolhidos, onde são detalhadas as contribuições das etapas analisadas do ciclo de vida para as várias categorias de impacto. Para este efeito, recorreu-se ao programa *SimaPro* versão 8.5.2 (*Pré Consultants*, 2017), sendo usado o método de avaliação de impactes *CML-IA baseline* (versão 3.04), conduzido através das etapas de Classificação e Caracterização. Por fim, os resultados, quando possível, são confrontados com a bibliografia existente. Este capítulo inclui ainda oportunidades de melhoria com base nos resultados obtidos.

Finalmente, no capítulo 6 são apresentadas as principais conclusões a retirar do trabalho desenvolvido, as limitações encontradas, assim como sugeridas perspetivas futuras para desenvolvimentos neste tema.

## 2. EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ELETRÓNICOS E O AMBIENTE

### 2.1 INTRODUÇÃO

Os Equipamentos Elétricos e Eletrônicos possuem uma grande diversidade de características e usos que dificultam a sua definição, motivo pelo qual existem várias definições disponíveis na bibliografia.

Segundo a plataforma *Solving The E-Waste Problem*, os EEE são equipamentos, de uso doméstico ou comercial, que incluem componentes elétricos ou eletrônicos e uma fonte de alimentação ou bateria. Um outro estudo define os EEE como qualquer equipamento que depende de correntes elétricas ou campos eletromagnéticos para funcionar corretamente [8], [9].

No entanto, a definição mais concreta e abrangente consta no Decreto-Lei n.º 152-D/2017, de 11 de dezembro, que define os EEE como:

*‘Equipamentos dependentes de corrente elétrica ou de campos eletromagnéticos para funcionarem corretamente, bem como os equipamentos para geração, transferência e medição dessas correntes e campos, e concebidos para utilização com uma tensão nominal não superior a 1000 V para corrente alterna e 1500 V para corrente contínua’ [10].*

Este Decreto-Lei, que foi transposto para direito interno pela Diretiva n.º 2012/19/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 4 de julho de 2012, descreve o regime da gestão de fluxos específicos de resíduos sujeitos ao princípio da responsabilidade alargada do produtor, aprovando assim o regime jurídico da gestão de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos. Desta forma, estabelece medidas de proteção do ambiente e da saúde humana, com o objetivo de prevenir e reduzir os impactos decorrentes da produção e gestão desses resíduos, melhorando a eficiência dessa utilização, e contribuindo para o desenvolvimento sustentável [11].

Com o objetivo de classificar os EEE, o mesmo Decreto-Lei divide os equipamentos em 6 categorias distintas (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação dos EEE [10]

<b>Categoria</b>	<b>Tipo de EEE</b>
1	Equipamentos de regulação de temperatura
2	Ecrãs, monitores e equipamentos com ecrãs de superfície superior a 100 cm <sup>2</sup>
3	Lâmpadas
4	Equipamentos de grandes dimensões com qualquer dimensão externa superior a 50 cm
5	Equipamentos de pequenas dimensões sem dimensões externas superiores a 50 cm
6	Equipamentos informáticos e de telecomunicações de pequenas dimensões, com nenhuma dimensão externa superior a 50 cm

Os EEE são constituídos por substâncias perigosas e materiais tóxicos que prejudicam a saúde humana. Os riscos associados à saúde estão relacionados com o contacto direto, a inalação de vapores tóxicos e a acumulação de produtos químicos no solo, água e ar [12], [13].

A Tabela 2 identifica alguns dos efeitos na saúde humana originados por substâncias perigosas que se encontram nos EEE.

Tabela 2. Efeitos na saúde humana originados por substâncias perigosas presentes nos EEE [Adaptado de Ferreira, 2015 [14]]

<b>Substâncias</b>		<b>Presença em EEE</b>	<b>Efeitos na saúde</b>
<b>Compostos halogenados</b>	<b>CFC</b>	Unidades de refrigeração	- Aumento da incidência de cancro de pele - Alterações genéticas em organismos
	<b>PVC</b>	Cabos de isolamento	- Problemas respiratórios
<b>Metais pesados</b>	<b>Cádmio</b>	Camada fluorescente e tinteiros de impressora	- Fraqueza - Dor de cabeça
	<b>Chumbo</b>	Placas de circuito e ecrã CRT	- Problemas no sistema nervoso central e periférico
	<b>Mercúrio</b>	Termóstatos, sensores e disjuntores	- Danos em vários órgãos, como rins e cérebro

Relativamente aos impactes ambientais causados pela produção dos EEE, estes relacionam-se com a extração das matérias-primas para a produção dos mesmos, utilizando recursos naturais não renováveis. Durante a fabricação são usadas grandes quantidades de água e energia, além de que são libertadas inúmeras substâncias poluentes. Durante a fase de vida útil verificam-se altos consumos de eletricidade proveniente, essencialmente, da queima de combustíveis fósseis.

Com o aumento da deposição dos EEE em fim de vida, os problemas ambientais, sociais e económicos são cada vez mais notórios. Os Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos devem ser recolhidos e tratados de forma correta, de modo a não se tornarem fontes poluidoras, libertando metais pesados, produtos químicos e emissões perigosas para o ambiente e a saúde humana [15].

De acordo com o artigo 3º, ponto 1, do Decreto-Lei n.º 152-D/2017, de 11 de dezembro:

*‘Os Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos são definidos como quaisquer EEE que constituam resíduos, incluindo os componentes, subconjuntos e materiais consumíveis que fazem parte integrante do produto no momento em que este é descartado’ [10].*

A gestão dos REEE tem sido estudada pelos países desenvolvidos que têm implementado regulamentações e legislações que restringem o uso de substâncias tóxicas na composição destes equipamentos. Neste sentido, o Decreto-Lei n.º 79/2013, de 11 de junho, que procedeu à transposição da diretiva n.º 2011/65/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 8 de junho de 2011, estabelece regras relativas à restrição do uso de determinadas substâncias perigosas nos EEE, com o objetivo de contribuir para a proteção da saúde humana e do ambiente, incluindo uma valorização e eliminação, ecologicamente corretas, dos REEE [11], [16].

A recolha seletiva, valorização e eliminação deste fluxo de resíduos são extremamente complexas devido à heterogeneidade dos equipamentos em termos de composição, dimensão, peso, funcionalidade/aplicação e presença de substâncias perigosas [17].

A legislação aplicável pelo fluxo de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos baseia-se no princípio da responsabilidade alargada do produtor do EEE, que consiste em atribuir ao produtor do produto a responsabilidade pelos impactes ambientais e pela produção de resíduos decorrentes do processo produtivo e da posterior utilização dos respetivos produtos, bem como da sua gestão quando atingem o final de vida, podendo esta ser atribuída a um sistema integrado ou individual. Assim, devem ser cumpridos os princípios e objetivos de gestão estabelecidos no Decreto-Lei n.º 152-D/2017, de 11 de dezembro. Estes princípios e objetivos referem-se à conceção e gestão dos EEE, objetivos e metas anuais de recolha, objetivos nacionais de valorização, regras específicas para a recolha e transporte, preparação para reutilização, tratamento adequado caso não seja preferível a reutilização do equipamento, transferência do REEE, transferência do EEE usados suspeitos de serem resíduos, responsabilidade pela recolha do REEE provenientes de utilizadores particulares e não particulares, financiamento da gestão do REEE provenientes de utilizadores não particulares, sensibilização e informação dos utilizadores [11].

A recolha seletiva e a valorização eficiente permitem minimizar o impacto ambiental dos REEE através da correta remoção das substâncias perigosas, bem como da recuperação e reutilização de materiais, evitando impactes ambientais, como a poluição de solos, recursos hídricos, ar e os efeitos nocivos na camada de ozono que contribuem para o aquecimento global e as alterações climáticas. Do mesmo modo, o correto tratamento destes equipamentos reduz a exposição do Homem às substâncias perigosas, evitando consequências negativas para a saúde humana.

Assim sendo, a realização de estudos de Avaliação do Ciclo de Vida focando os frigoríficos desempenha um papel fundamental no sentido de conhecer os impactes associados a estes equipamentos, contribuindo assim para a sustentabilidade ambiental através de ações e estratégias que possam mitigar os impactes ambientais identificados.

## 2.2 DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS FRIGORÍFICOS

No século XVIII, o escocês William Cullen apresentou, na Universidade Glasgow, na Escócia, o primeiro processo de refrigeração artificial. No entanto, o primeiro frigorífico foi construído em 1856, pelo australiano James Harrison, que tinha sido contratado por uma fábrica de cerveja e por indústrias de carne processada para exportação. Apenas em 1913 é que foi lançado, pela marca Delmer, em Chicago, o primeiro frigorífico doméstico [18], [19].

O frigorífico é um equipamento térmico constituído por um armário e um sistema de refrigeração, cujo objetivo é remover o calor do interior de forma a manter a temperatura interna inferior à temperatura exterior. Neste sentido, os frigoríficos são utilizados para a conservação de alimentos em ambientes domésticos, comerciais e industriais.

No interior do frigorífico existe um evaporador onde circula um gás frio. O calor proveniente do interior dos alimentos é transferido para este gás que percorre uma serpentina. Por outro lado, é utilizado um compressor que comprime o gás através do aumento da pressão, aumentando assim a sua temperatura. Este fluido é direcionado ao condensador, onde ocorre uma troca de calor com o ar exterior. Desta forma, o gás é arrefecido e condensado. De seguida, o líquido refrigerante passa por uma válvula de expansão que provoca diminuição na pressão e, conseqüentemente, evaporação e diminuição da temperatura. Este gás é direcionado novamente ao evaporador completando-se assim o ciclo termodinâmico [20].

A Figura 2 esquematiza o processo de funcionamento do frigorífico.

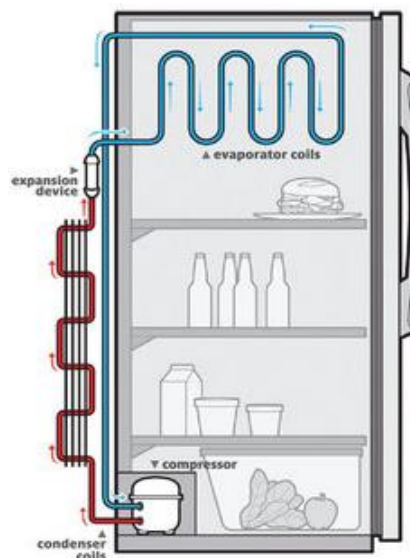


Figura 2. Funcionamento de um frigorífico [21].

Hoje em dia, o frigorífico é um eletrodoméstico indispensável, sendo essencial na vida do Homem, pelo que a indústria tem apresentado uma rápida evolução ao longo dos anos. No mercado português existem várias marcas e modelos de frigoríficos. De seguida, são mencionadas algumas características dos principais modelos que existem à venda:

- **Frigorífico de uma porta** - eletrodoméstico que possui apenas uma zona de refrigeração. Esta categoria apresenta grande diversidade de modelos para utilização comercial e industrial;
- **Convencional** - eletrodoméstico que possui um frigorífico e um congelador. A sua principal característica é que possui só um compressor para o frigorífico e o congelador. Neste modelo, o congelador pode estar localizado na parte superior ou inferior do equipamento;
- **Combinado** - eletrodoméstico que possui um frigorífico e um congelador. A principal diferença deste tipo de frigorífico em relação ao convencional é que possui dois motores independentes, um para o frigorífico e outro para o congelador. É por esta razão que este modelo tem um melhor desempenho e uma regulação independente da temperatura entre os dois compartimentos. Na maioria dos casos, o congelador encontra-se na parte inferior do equipamento;
- **Modelo Side by Side europeu** - eletrodoméstico que possui duas portas paralelas, uma que corresponde à zona de refrigeração e outra que corresponde à zona de congelação. Usualmente, a porta do compartimento do frigorífico é maior do que a porta do compartimento do congelador;
- **Modelo Side by Side americano** - eletrodoméstico que possui duas portas paralelas, uma que corresponde à zona de refrigeração e outra que corresponde à zona de congelação. Usualmente, a porta do compartimento do frigorífico é maior do que a porta do compartimento do congelador. Estes equipamentos possuem dispensadores de água e gelo [22], [23].

### 2.2.1 CARACTERIZAÇÃO DO FRIGORÍFICO EM ESTUDO

O frigorífico em estudo é um equipamento de frio para utilização comercial e industrial, cujo modelo é o ARV400 SC PV Softline (Figura 3), fabricado pela empresa Olitrem S.A.. O Anexo A (Figura A-1) especifica as dimensões deste frigorífico. Em seguida são listadas as suas características técnicas.

- Largura: 590 mm;
- Profundidade: 600 mm;
- Altura: 1820 mm;
- Volume: 341 L;
- Interior poliestireno (PS) branco;
- Exterior chapa plastificada (*skinplate*);
- Isolamento 50 mm poliuretano base de água;
- Iluminação *light-emitting diode* (LED);
- Frio ventilado;
- Descongelamento automática (digital) | manual (analógica);
- 4 Prateleiras amovíveis de aço plastificado (495 x 428 mm);

## Avaliação do Ciclo de Vida de um Frigorífico

- Porta vidro | Aro policloreto de vinilo (PVC);
- Porta reversível;
- Porta sem retorno automático;
- 4 Rodízios + 2 Pés niveladores;
- Temperatura de funcionamento: +1° C e +8° C;
- Peso: 76 kg;
- Potência: 276 W;
- Tensão | Frequência: 230 V - 50 Hz;
- Consumo: 623 kWh/ano;
- Termostato: analógico ou digital;
- Gás: R600a;
- Classe climática: 4;
- Capacidade de garrafas de 33 cl: 252 - 264;
- Capacidade de latas de 33 cl: 480 - 504.



**Figura 3.** Armário de refrigeração ARV400 SC PV Softline produzido pela empresa Olitrem S.A. [7].

## 2.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

### 2.3.1 REFERÊNCIAS NORMATIVAS USADAS EM ESTUDOS DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A adesão aos instrumentos de gestão ambiental tem sido importante para o desempenho das organizações que procuram diminuir os seus impactes ambientais, adotando um conjunto de práticas sustentáveis que lhes permitam reduzir os riscos e custos associados às suas atividades, cumprindo simultaneamente os requisitos da legislação [24].

A *International Organization for Standardization (ISO)* é uma organização não governamental, constituída por representantes de 164 países, que promove a normalização e padronização através de normas e regulamentações, com o objetivo de melhorar a qualidade de produtos e serviços em organizações [25].

As normas da série 14000 focam a gestão ambiental. Mais especificamente, a norma NP EN ISO 14040:2006 descreve os princípios e procedimentos para a aplicação da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida, sendo complementada com os requisitos e diretrizes da NP EN ISO 14044:2006 [26], [27].

A Avaliação do Ciclo de Vida é uma ferramenta que tem como objetivo avaliar os potenciais impactes ambientais associados ao ciclo de vida de um produto ou serviço. Esta técnica quantifica as entradas e saídas de materiais e energia e, avalia os impactes causados pelo consumo de recursos naturais e a emissão de poluentes para o ambiente e a saúde humana. As etapas que são analisadas englobam o *design*, obtenção das matérias-primas, produção, uso/consumo e tratamento de fim de vida [28].

### 2.3.2 METODOLOGIA USADA NA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Conforme referido anteriormente, a metodologia de ACV é descrita na NP EN ISO 14040:2006 e baseia-se numa abordagem sistemática e faseada. Como se pode observar na Figura 4, a ACV compreende quatro fases, nomeadamente a Definição do Objetivo e Âmbito, Análise de Inventário, Avaliação de Impactes Ambientais e Interpretação, as quais serão descritas de seguida [26].



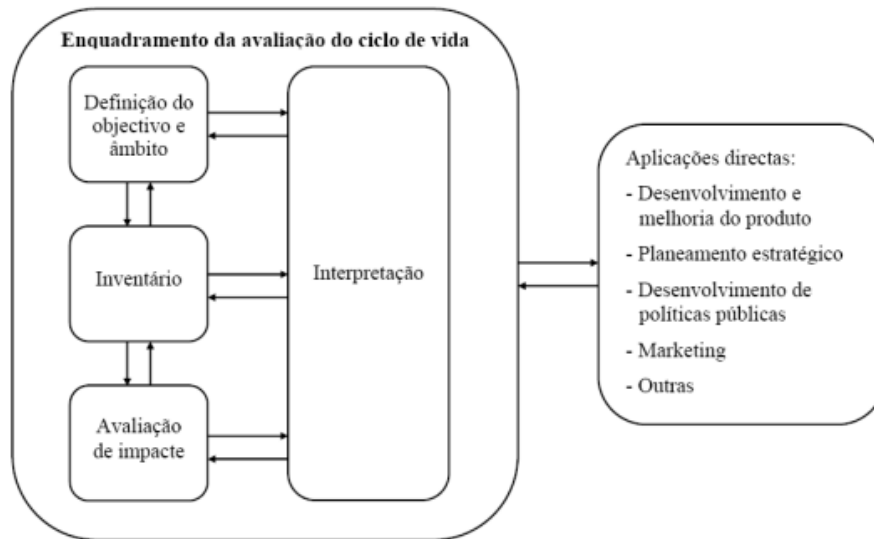


Figura 4. Etapas da metodologia da Avaliação de Ciclo de Vida definidas na NP EN ISO 14040: 2006 [26].

A etapa de **Definição do Objetivo e Âmbito** consiste em definir a aplicação pretendida, as razões para a realização do estudo, a Unidade Funcional, as Fronteiras do sistema e os requisitos relativamente à qualidade dos dados [26],[28].

Durante a **Análise de Inventário** são recolhidos e quantificados os dados relativos às entradas e saídas de materiais e energia para cada fase do ciclo de vida [26]-[28].

A terceira etapa, **Avaliação de Impactes Ambientais**, avalia os efeitos ambientais e humanos associados ao consumo de recursos naturais, às emissões de poluentes e à produção de resíduos [26]-[28].

Esta última etapa prevê a realização dos seguintes elementos, sendo os três primeiros elementos obrigatórios:

1. Seleção das categorias, dos indicadores e dos modelos de caracterização;
2. Classificação: atribuição dos dados do inventário às categorias de impacte selecionadas;
3. Caracterização: cálculo dos indicadores das categorias de impacte através do uso de fatores de caracterização;
4. Normalização: cálculo da contribuição relativa de um sistema do produto ou cálculo dos indicadores das categorias de impacte em relação a um referencial (país, região, mundo);
5. Agrupamento: imputação das categorias de impacte em um ou mais conjuntos, recorrendo a procedimentos de ordenação de categorias de acordo com as suas características ou hierarquia;
6. Ponderação: conversão dos resultados da caracterização ou dos resultados normalizados utilizando fatores numéricos baseados na legislação e em escolhas de valor [26], [28].

Por fim, na **Interpretação dos Resultados** são avaliados os aspetos mais importantes das etapas da Análise do Inventário e da Avaliação de Impactes Ambientais. Além disso, são também retiradas conclusões, bem como definidas recomendações [26]-[28].

A utilização da ACV permite identificar quais as etapas que apresentam maior impacto, desenvolver oportunidades para melhorar o desempenho dos produtos ou serviços, fornecer informação útil para a tomada de decisões, selecionar indicadores relevantes de desempenho ambiental e definir estratégias de *marketing* comercial [26].

Contudo, esta metodologia apresenta algumas limitações. Trata-se de uma metodologia que pode ser limitada pela acessibilidade ou disponibilidade de dados relevantes e de boa qualidade. Por outro lado, os aspetos económicos e sociais não são avaliados e, por isso, existem limitações para a tomada de decisões, quando na equação são colocados os pontos de vista económico, técnico e social [23], [25].

## 2.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE ESTUDOS DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO FRIGORÍFICO

A revisão bibliográfica realizada nesta dissertação assenta na análise de estudos sobre a Avaliação do Ciclo de Vida de frigoríficos domésticos. Desta forma, foram identificados quatro estudos, realizados para países distintos e para diferentes modelos de frigoríficos, onde predomina a abordagem do berço ao túmulo. A revisão de cada um dos estudos é feita relativamente ao objetivo de estudo, à Unidade Funcional, ao tipo de abordagem e fases do ciclo de vida consideradas, à metodologia de avaliação e às diferentes categorias de impacto ambiental. Por fim, são identificadas as fases com maior impacto ambiental e as conclusões mais relevantes.

O estudo realizado no *Equador* foca a substituição de 330.000 frigoríficos domésticos e avalia os impactes ambientais associados ao ciclo de vida dos novos frigoríficos e às atividades de fim de vida dos frigoríficos que foram substituídos. Em relação ao estudo realizado na *China*, este analisa os impactes ambientais do ciclo de vida de um frigorífico doméstico fabricado naquele país. O estudo *italiano* avalia o impacto ambiental de uma nova tecnologia de espuma de poliuretano, realizada sob vácuo, como alternativa para uma redução potencial do impacto ambiental associado ao frigorífico doméstico. Neste estudo compara-se os impactes ambientais da espuma de poliuretano utilizada convencionalmente com os decorrentes do uso da nova tecnologia “ENERG-ICE”. Por último, o estudo do *México* foca apenas os impactes ambientais associados à porta de um frigorífico doméstico para cada uma das etapas do ciclo de vida deste componente. A Tabela 3 resume as características dos estudos mencionados anteriormente [29]-[32].

Conclui-se que as unidades funcionais variam conforme os objetivos e metas estabelecidos em cada estudo. Relativamente à abordagem seguida pelos autores, existe uma similitude na abordagem usada (berço ao túmulo), possibilitando uma visão mais completa dos impactes ambientais associados ao ciclo de vida de cada frigorífico analisado. Conclui-se, para os estudos

dos frigoríficos, que a etapa de utilização é a que apresenta maior contribuição para o impacto ambiental devido ao elevado consumo de energia elétrica associado, principalmente, à queima de combustíveis fósseis na produção de eletricidade. Foi concordante em todos os estudos que a etapa de produção possui uma contribuição significativa para as diferentes categorias de impacto ambiental devido ao consumo de recursos não renováveis [29]-[32].

Importa referir que nos estudos analisados é utilizada a espuma de poliuretano como isolante térmico. Os resultados obtidos para os estudos realizados no *Equador* e no *México* permitem concluir que esta espuma é um dos componentes dos frigoríficos com maior contribuição para o impacto ambiental destes equipamentos. Não obstante, em comparação com outros tipos de isolantes térmicos, como por exemplo a fibra de vidro, a espuma de poliuretano conduz menor quantidade de calor e, conseqüentemente, diminui o consumo de eletricidade dos frigoríficos, tal como é referido no estudo do *Equador* [29]-[32].

Tabela 3. Revisão de estudos de ACV aplicados a vários tipos de refrigeradores domésticos fabricados em diferentes países

Autor	Granda (2012) [29]	Xiao et al. (2015) [30]	Helling et al. (2013) [31]	Cuagtle (2014) [32]
País	Equador	China	Itália	México
Objetivo de estudo	Avaliar o impacto energético e ambiental associado ao ciclo de vida de 330.000 refrigeradores domésticos de classe A	Quantificar o consumo de recursos, energia e emissões ambientais durante o ciclo de vida de um refrigerador doméstico	Quantificar, em todos os processos envolvidos, o impacto ambiental da espuma de poliuretano "ENERG-ICE" e comparar este material com o isolante térmico utilizado convencionalmente	Avaliar ambientalmente o ciclo de vida da porta de um refrigerador doméstico e caracterizar as peças da porta com maior contribuição para o impacto ambiental
Unidade funcional	330.000 refrigeradores domésticos usados por 10 anos durante 24 horas por dia	Um refrigerador doméstico, de porta dupla, de 61 kg, de refrigeração direta, fabricado na China, usado por 10 anos durante 24 horas por dia e descartado através de um sistema de reciclagem	Isolamento de poliuretano para um refrigerador doméstico de 12 anos, classe A, de uso doméstico, utilizando o ciclopentano como agente de expansão	Uma porta de um refrigerador doméstico produzido por uma determinada fábrica no México
Abordagem ACV	<i>Cradle-to-Grave</i> (Berço-túmulo)	<i>Cradle-to-Grave</i> (Berço-túmulo)	<i>Cradle-to-Grave</i> (Berço-túmulo)	<i>Cradle-to-Grave</i> (Berço-túmulo para os componentes da porta)
Etapas ACV incluídas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Extração de matérias-primas</li> <li>- Produção</li> <li>- Transporte</li> <li>- Fim de vida dos refrigeradores substituídos</li> <li>- Utilização</li> <li>- Fim de vida dos novos refrigeradores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Extração de matérias-primas</li> <li>- Produção</li> <li>- Transporte</li> <li>- Utilização</li> <li>- Fim de vida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Extração de matérias-primas</li> <li>- Refinação</li> <li>- Produção</li> <li>- Utilização</li> <li>- Fim de vida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Extração de matérias-primas</li> <li>- Produção dos componentes da porta</li> <li>- Transporte</li> <li>- Fim de vida</li> </ul>
Etapas ACV excluídas	---	---	Transporte	Utilização

Tabela 3. Revisão de estudos de ACV aplicados a vários tipos de frigoríficos domésticos fabricados em diferentes países (cont.)

Autor	Granda (2012) [29]	Xiao et al. (2015) [30]	Helling et al. (2013) [31]	Cuagtle (2014) [32]
<b>Método</b>	<i>Eco-indicator '99, SimaPro</i> (Dreicer et al., 1995; Frischknecht et al., 1999; Hofstetter et al., 1998) [33]	<i>CML 2001</i> (Guinée et al., 2001) [34]	<i>ReCiPe</i> (Dreicer et al., 1995; Frischknecht et al., 1999; Hofstetter et al., 1998; Guinée et al., 2001) [35]  <i>USEtox Model</i> (Rosenbaum et al., 2008; Hauschild Mz et al., 2008; Laurent et al., 2011) [36]	<i>CML 2001</i> (Guinée et al., 2001) [34]  <i>TRACI</i> (Bare et al., 2003) [37]
<b>Categorias de impacte ambiental</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Toxicidade humana cancerígena</li> <li>- Respiração orgânica</li> <li>- Respiração inorgânica</li> <li>- Alterações climáticas</li> <li>- Radiação</li> <li>- Depleção da camada de ozono</li> <li>- Ecotoxicidade</li> <li>- Acidificação/Eutrofização</li> <li>- Uso do solo</li> <li>- Minerais</li> <li>- Combustíveis fósseis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Depleção abiótica</li> <li>- Acidificação</li> <li>- Aquecimento global</li> <li>- Formação de ozono fotoquímico</li> <li>- Depleção da camada de ozono</li> <li>- Eutrofização</li> <li>- Ecotoxicidade em água fresca</li> <li>- Toxicidade humana</li> <li>- Ecotoxicidade marinha</li> <li>- Ecotoxicidade terrestre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aquecimento global</li> <li>- Acidificação</li> <li>- Eutrofização em água fresca</li> <li>- Eutrofização marinha</li> <li>- Formação de ozono fotoquímico</li> <li>- Depleção da camada de ozono</li> <li>- Depleção de recursos fósseis</li> <li>- Depleção da água</li> <li>- Toxicidade humana</li> <li>- Ecotoxicidade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pegada de carbono</li> <li>- Energia consumida</li> <li>- Acidificação</li> <li>- Eutrofização em água fresca</li> </ul>
<b>Conclusões/ Categorias com maior impacte ambiental</b>	As etapas de produção, utilização e transporte são as que apresentam maior impacte ambiental. A etapa de utilização é a que apresenta maior contribuição para o impacte devido ao consumo de combustíveis fósseis	A produção e utilização apresentam maior impacte ambiental. Na etapa de produção a fabricação do compressor é o principal contribuinte para as categorias de depleção abiótica e os quatro indicadores de toxicidade. Por outro lado, a reciclagem de resíduos (o compressor e os seus acessórios, aço, cobre, alumínio, plástico e espuma de poliuretano) contribui para que o impacte ambiental da extração das matérias-primas seja reduzido	Os principais impactes ambientais estão associados ao consumo de eletricidade durante a utilização do frigorífico. Verifica-se que, em comparação com a espuma convencional, o uso da nova tecnologia permite reduzir 10% o consumo de eletricidade no tempo de vida útil do equipamento	Os principais impactes ambientais estão associados à extração das matérias-primas, uma vez que neste estudo não foi analisada a etapa de utilização. Dos materiais analisados, a chapa de aço galvanizada e a espuma de poliuretano são os materiais que apresentam maior contribuição no impacte ambiental da porta do frigorífico

## **3. PROCESSO DE PRODUÇÃO DO FRIGORÍFICO**

### **3.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA PRODUTORA DO FRIGORÍFICO E DA ENTIDADE GESTORA DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ELETRÓNICOS**

A Olitrem - Indústria de Refrigeração, S.A. é uma empresa familiar que surge como continuação de uma anterior empresa, Marecos Lda, fundada em 1964 em Angola, por Armando Marecos Ferreira [38].

Entre 1964 e 1974, a empresa Marecos Lda fabricou e desenvolveu equipamentos de frio, designadamente frio doméstico, frio comercial, frio de transporte e frio industrial. Por razões sociopolíticas, a empresa deslocou-se para Portugal assumindo o nome de Olitrem - Sociedade de Destilação de Óleos e Refrigeração, S.A., tendo como principal objetivo a extração de óleos vegetais para perfumaria [38].

Em 1993, a empresa passou a ter como principal atividade a representação, construção e reparação de equipamentos de frio. Mais tarde, adquiriu os direitos da Marca Registrada “MARECOS”, fazendo uma atualização do nome para Olitrem - Indústria de Refrigeração, S.A., estando localizada no distrito de Santarém [38].

Atualmente, a atividade da empresa é a produção de equipamentos de frio, comercialização de equipamentos de hotelaria e serviços de assistência. A Olitrem é uma das maiores empresas neste ramo de atividade em Portugal, também exportando equipamentos para mais de 20 países do mundo [38].

A WEEECYCLE - Associação de Produtores de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos é uma Entidade Gestora licenciada pela Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. (APA) e a Direção-Geral da Administração Escolar (DGAE), segundo o Despacho n.º 5256/2018 de 25 de maio, para exercer a gestão de um Sistema Integrado de Gestão de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos. Esta Entidade Gestora é constituída por empresas produtoras de EEE e está sediada no Porto [39].

Os principais objetivos da WEEECYCLE estão relacionados com a sustentabilidade do setor, de forma a contribuir com uma gestão rigorosa na cadeia de valor dos EEE, intervindo nos processos de recolha seletiva, transporte, tratamento, valorização e reciclagem. Por outro lado, esta entidade tem uma ação contínua no âmbito da prevenção, investigação e desenvolvimento, através da constante interação entre todos os intervenientes no ciclo de vida do EEE [39].

Desta forma, a WEEECYCLE, que possui cada vez mais relevância de atuação no mercado nacional, realiza ações de sensibilização, comunicação e educação, no sentido de alertar à população para a correta deposição dos REEE, nomeadamente frigoríficos, uma vez que estes são considerados perigosos, quer para o ambiente, quer para a saúde humana. Neste sentido, a WEEECYCLE sensibiliza ao detentor para o correto encaminhamento destes resíduos através da troca do novo frigorífico pelo velho, através da entrega do resíduo num centro de receção dos serviços de recolha da Câmara Municipal da área de residência ou através da entrega num dos pontos de recolha da sua rede. Por outro lado, esta entidade gestora promove a realização de estudos com o objetivo de fornecer alternativas mais sustentáveis aos produtores destes equipamentos [6].

De modo a cumprir com um dos requisitos da sua licença, a WEEECYCLE desenvolveu um Plano de Prevenção para o período de vigência da licença, com início a 01/01/2019 e término a 31/12/2021. Este Plano vai de encontro com o ponto n.º 1.2.5 da licença, “Favorecer a prevenção da produção de REEE”, bem do referido no artigo n.º 55 do Decreto - Lei n.º 152-D/2017, de 11 de dezembro, garantindo que:

- *“Os EEE devem ser concebidos de forma a facilitar o desmantelamento e a valorização dos REEE, seus componentes e materiais, e a não impedir, através de características de conceção ou processos de fabrico específicos, a sua reutilização, salvo se essas características ou processos de fabrico apresentarem vantagens de maior relevo, designadamente no que respeita à proteção do ambiente e aos requisitos de segurança.”*
- *“(…) os produtores devem (…) cooperar com os operadores de instalações de reciclagem e aplicar os requisitos de conceção ecológica (...), que facilitem a reutilização e o tratamento do REEE” [6].*

O Plano de Prevenção está direcionado para os processos produtivos dos EEE, de modo a avaliar ambientalmente o ciclo de vida dos mesmos. Assim, é possível identificar medidas de prevenção que podem ser tomadas em cada uma das etapas, bem como ações de diminuição do impacte ambiental associado ao produto [6].

## 3.2 O CICLO DE VIDA DO FRIGORÍFICO

Nesta secção são identificadas as fases do ciclo de vida associadas ao frigorífico ARV400 SC PV Softline, fabricado pela empresa Olitrem S.A..

A Figura 5 apresenta as diferentes fases do ciclo de vida do frigorífico, desde a extração e produção dos recursos até ao fim de vida do equipamento. A Tabela B-1 do Anexo B discrimina os diferentes materiais que compõem o frigorífico, assim como as suas respetivas quantidades.

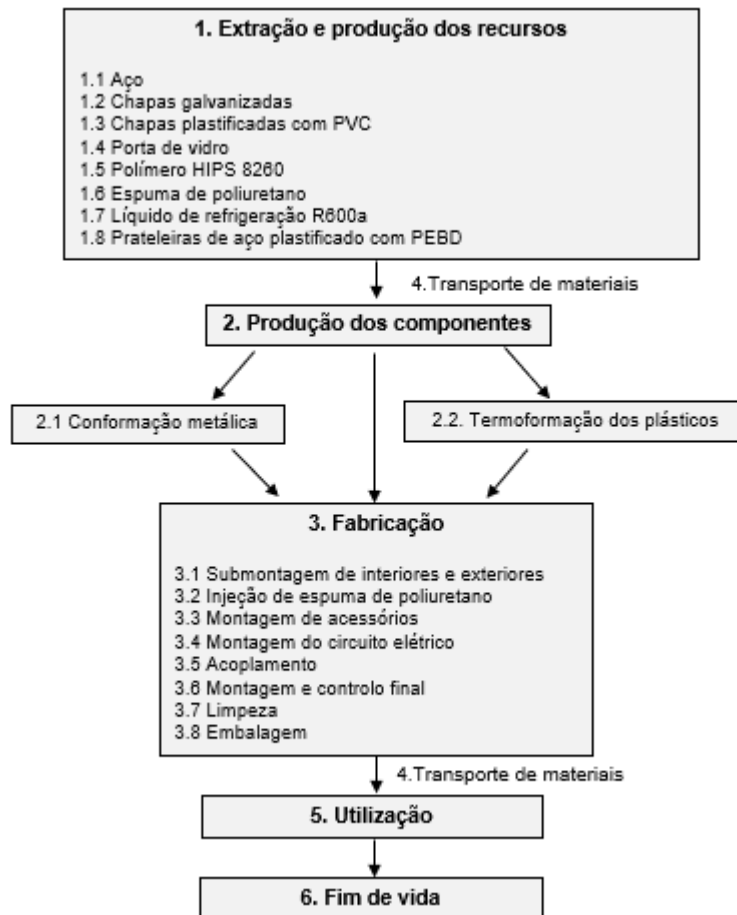


Figura 5. Fluxograma do ciclo de vida do frigorífico ARV400 SC PV Softline [7].

As secções seguintes descrevem e caracterizam, de forma sucinta, as fases do ciclo de vida do equipamento em estudo.

### 3.2.1 EXTRAÇÃO E PRODUÇÃO DOS RECURSOS

Em seguida é caracterizada a extração e produção dos materiais que constituem o armário e o sistema de refrigeração. O armário é composto por chapas galvanizadas, chapas plastificadas com policloreto de vinilo (PVC), porta de vidro, poliestireno de alto impacto (HIPS) 8260, espuma de poliuretano e quatro prateleiras de aço plastificado fabricadas com polietileno de baixa densidade (PEBD). O líquido de refrigeração utilizado no frigorífico é o R600a.



### 3.2.1.1 AÇO

Os principais minérios utilizados na extração do ferro são o óxido de ferro, hematite e magnetite. Depois de extraído, o minério sofre diversas operações de preparação, nomeadamente fragmentação, moagem, classificação e concentração [40].

A produção do aço é realizada num alto-forno, onde ocorre a oxidação do minério. Neste processo, o minério de ferro, o coque (agente de redução) e um elemento purificador (geralmente o calcário) são submetidos a temperaturas superiores a 1500° C. O produto final é designado por gusa, sendo produzidas também escórias e lamas de despoeiramento. Seguidamente, a gusa sofre processos de afinação, para eliminar o excesso de carbono, desoxigenação, dado o seu elevado teor em oxigénio, e adições de ferroligas ou de agentes desoxigenantes. Os biletos obtidos por vazamento são encaminhados para a secção de laminagem onde, num forno contínuo a 1000 - 1200° C, são produzidas as chapas de aço [40], [41].

A produção do aço também pode ser realizada a partir da reciclagem de aço. Este processo está associado a um menor consumo energético e redução significativa do impacto na paisagem e da poluição. Neste caso, a carga é introduzida no forno, com temperaturas à volta dos 1600° C, sobre a qual descem eléctrodos de grafite. A tensão eléctrica estabelecida entre os eléctrodos e a carga provoca o escorvamento de um arco, que será responsável pela fusão desta. Neste processo também é produzida escória. Posteriormente, são adicionados vários elementos necessários para garantir a qualidade do produto. Finalmente, o aço líquido afinado é sujeito a vazamento contínuo formando biletos que são posteriormente encaminhados à secção de laminagem [40], [41].

Em Portugal, devido à inexistência do minério de ferro e de uma indústria de extração mineira do mesmo, o aço pode ser importado ou, quando produzido nacionalmente, resulta da reciclagem de sucata de aço [41].

### 3.2.1.2 CHAPAS GALVANIZADAS

Os minérios de zinco mais abundantes na natureza são a esfalerite, marmatite e zincite. Depois de extraído, o minério é submetido a uma operação de flutuação para separar a parte do minério rico em zinco do restante minério. Este é sujeito a um processo de ustulação para que o zinco esteja na forma oxidada [40], [42].

O zinco é produzido por dois tipos de processos, o pirometalúrgico, que contribui com 20% da produção mundial de zinco, e o hidrometalúrgico, com uma contribuição de 80% [40].

No processo hidrometalúrgico, o minério é submetido a uma lixiviação com ácido sulfúrico (a pH4), na qual são solubilizados óxidos dos metais na forma de sulfatos. Posteriormente, a solução segue para purificação, sendo o método mais utilizado o da adição de pó de zinco, com o objetivo de retirar da solução as impurezas, como por exemplo, o cobre, níquel e cobalto, que podem interferir na eletrólise. De seguida, a solução de sulfato de zinco é encaminhada

para a eletrólise com regeneração do ácido, que é reutilizado na lixiviação. Finalmente, obtêm-se o cátodo de zinco com 99.99% de pureza [40], [42].

No processo pirometalúrgico, o zinco é submetido a processos de ebulição para a formação de vapor de zinco e posterior condensação, obtendo-se zinco com 99.95% de pureza. Outro processo pirometalúrgico, com menor implementação industrial, é o Imperial Smelting [40], [42].

A galvanização é um processo que tem como objetivo isolar uma superfície metálica, como por exemplo o aço, mesmo nas condições mais desfavoráveis, prolongando assim o tempo de vida do metal. Existem diferentes tipos de galvanização, sendo que um dos mais eficazes e utilizados é a galvanização por imersão a quente. Este processo divide-se pelas seguintes etapas:

1. Desengorduramento, em solução ácida, para remoção de óleos, massas e outros compostos orgânicos;
2. Lavagem com água para evitar a contaminação dos banhos seguintes;
3. Decapagem química, utilizando ácido sulfúrico ou ácido clorídrico, para remoção de óxidos e carepas;
4. Lavagem com água para remover os resíduos produzidos durante a decapagem química;
5. Fluxagem, imersão em solução de cloreto de zinco e cloreto de amónio, para purificação da superfície;
6. Pré-secagem em estufa, a altas temperaturas, para secagem das peças e redução do choque térmico;
7. Imersão em zinco fundido para reação entre o ferro e zinco, que compõe o revestimento de proteção final [43], [44].

### 3.2.1.3 CHAPAS PLASTIFICADAS COM PVC

O PVC, polímero do cloreto de vinilo, é um plástico constituído 57% por cloro e 43% por etileno. O cloro é obtido a partir da eletrólise do cloreto de sódio em meio aquoso. Por sua vez, o etileno é produzido pela destilação do petróleo bruto e craqueamento da nafta [45], [46].

Através de uma reação química, o etileno e o cloro combinam-se formando o dicloreto de etileno, que por sua vez é transformado no cloreto de vinilo. A produção do PVC consiste na polimerização do monómero, processo que pode ser realizado por suspensão (que corresponde, aproximadamente, a 80% da produção mundial) ou por emulsão e micro-suspensão [45], [46].

O processo de polimerização por suspensão é uma reação exotérmica (50 - 70° C) que envolve quatro componentes: o monómero, iniciador, água e agente dispersante (estabilizante). O monómero e o iniciador são dissolvidos e, posteriormente, dispersados na forma de gotas (30 - 150 µm), em fase aquosa, sob agitação. O uso do agente dispersante e a forte agitação permitem manter a mistura na forma de gotas. O reator, onde ocorre a polimerização, é selado sob vácuo para evitar altas concentrações de oxigénio no meio, uma vez que este pode aumentar o tempo de reação. O produto final é obtido na forma de partículas esféricas, de pequenas dimensões e homogéneas, que são posteriormente lavadas e secadas [45], [46].

O processo de plastificação das chapas de aço consiste em aplicar um revestimento de PVC sobre a chapa. Este revestimento, de espessura de 100  $\mu$ , constitui 1% do peso total da peça metálica.

#### 3.2.1.4 PORTA DE VIDRO

O vidro plano é o tipo de vidro mais utilizado na área de refrigeração comercial devido às suas características, como por exemplo, transparência, espessura uniforme, massa homogênea e boa visibilidade, uma vez que não apresenta distorção ótica [47].

Este vidro é geralmente do tipo sódio-cálcico e é constituído por sílica, óxidos de sódio, óxidos de cálcio e casco. Inicialmente, a mistura de matérias-primas é submetida a diversas operações de transformação, nomeadamente fusão (durante a qual as matérias-primas fundem a temperaturas próximas de 1600° C), afinagem (para homogeneização do vidro fundido e libertação de gases existentes) e acondicionamento térmico (em que o vidro menos viscoso é arrefecido até à viscosidade adequada para lhe conferir a forma final). Posteriormente, o material de fusão sofre um processo de conformação, que consiste em esticar e empurrar o material através de diversos métodos, como por exemplo o banho de estanho líquido, dando origem a uma lâmina de vidro que depois é submetida a um arrefecimento controlado, obtendo-se assim um material homogêneo, rígido, estável e inerte utilizado depois na fabricação da porta do frigorífico [48], [49].

A seguir são apresentadas algumas das matérias-primas utilizadas na produção do vidro sódio-cálcico.

- Areia - é o material básico deste tipo de vidro, pois é constituída, no mínimo, por 99,0% de sílica. A areia pode ser obtida por extração convencional de origem marinha, fluvial ou jazidas naturais, ou ainda por extração de quartzo;
- Calcário - mineral extraído de jazidas naturais e constituído por carbonato de cálcio. Este mineral é incorporado na mistura para fornecer o óxido de cálcio;
- Dolomita - mineral constituído por carbonato duplo de cálcio e magnésio e extraído de jazidas naturais. Este mineral é incorporado na mistura para fornecer o óxido de magnésio;
- Feldspato - mineral extraído de jazidas naturais e constituído por aluminossilicato duplo de sódio e potássio. Além da sílica, fornece ao vidro elementos como o óxido de alumínio, óxido de sódio e óxido de potássio;
- Carbonato de sódio - sal incorporado à mistura para fornecer o óxido de sódio. Este sal pode ser obtido por processos de cristalização de minérios ou produzido artificialmente pelo processo de Solvay [48], [50].

#### 3.2.1.5 POLÍMERO HIPS 8260

O poliestireno é um dos plásticos mais utilizados nas indústrias devido às suas características e preço acessível. Esta resina termoplástica, derivada do petróleo, possui como vantagens uma elevada transparência, rigidez e estabilidade dimensional [51], [52].

O polímero de poliestireno de alto impacto é uma variante do PS misturado com uma pequena percentagem (5 a 15%) de borracha butadieno. O butadieno tem como função absorver energia e, assim, diminuir a fragilidade do PS. Desta forma, o HIPS é um PS de alta resistência ao impacto e alongamento [51], [53].

O estireno, monómero do poliestireno, é obtido a partir do etileno e benzeno. Estes por sua vez são produzidos a partir do craqueamento da nafta. A borracha butadieno é um polímero formado a partir da polimerização do monómero 1,3-butadieno, químico proveniente do processamento do petróleo [54], [55].

Inicialmente, a borracha butadieno é triturada e adicionada junto com os monómeros de estireno a um purificador, com o objetivo de remover as impurezas provenientes da produção do estireno e para retirar o anti-polimerizador (adicionado durante a fabricação do monómero). Esta mistura segue para os reatores, geralmente em série, onde são adicionados, em determinadas condições, os aditivos e o catalisador. O produto do reator é constituído, geralmente, por 70 a 80% de poliestireno. Posteriormente, ocorre a separação da corrente principal do polímero dos monómeros que não reagiram e dos aditivos adicionados. Finalmente, durante a etapa de peletização, o poliestireno é transformado em peletes, sendo depois comercializado [54].

A Figura 6 apresenta o fluxograma da produção do HIPS.

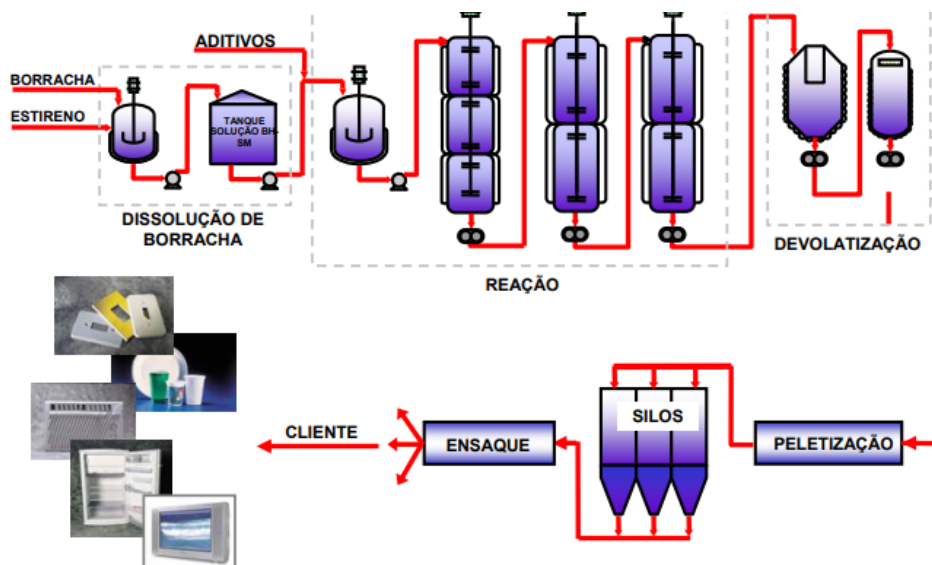


Figura 6. Fluxograma da fabricação do HIPS [50].

O HIPS é frequentemente utilizado em aplicações de termoformação. Este polímero resiste a baixas temperaturas e é um material adequado para contacto com produtos alimentares, sendo por esta razão ideal na produção de peças usadas em equipamentos de refrigeração [56], [57].

### 3.2.1.6 ESPUMA DE POLIURETANO

O poliuretano é um polímero termoestável que possui várias formas e aplicações, como por exemplo as espumas, que podem ser flexíveis, semi-rígidas ou rígidas. As espumas de poliuretano rígidas são essencialmente usadas para o isolamento térmico. A produção de

poliuretano envolve uma reação exotérmica entre o isocianato (tolueno diisocianato (TDI) ou poli metil difenil diisocianato (PMDI)) e o polioliol (normalmente poliéteres hidroxilados). Além destes dois reagentes, também são usados outros componentes como aditivos e catalisadores [58], [59].

Para se obter a espuma, o poliuretano deve ser expandido através da introdução de bolhas de gás. Assim, durante a polimerização é adicionado um agente de expansão, como por exemplo a água, o qual reage com o grupo isocianato, dando origem ao ácido carbâmico que, sendo instável, decompõe-se numa amina e dióxido de carbono. A libertação do dióxido de carbono, através de bolhas de gás, é responsável pelo crescimento e formação de poros da espuma de poliuretano. O aumento da viscosidade devido à polimerização é acompanhado por um aumento de temperatura, pelo que o centro da espuma pode atingir cerca de 190° C. Paralelamente, a amina reage com outras moléculas de isocianato para formar poliuréia, que contribui ao aumento da dureza da espuma [58], [60], [61].

### 3.2.1.7 LÍQUIDO DE REFRIGERAÇÃO R600a

O GPL (gás de petróleo liquefeito) é um gás combustível, derivado do petróleo, composto pelos hidrocarbonetos: butano, propano, isobutano, propeno e buteno. Estes hidrocarbonetos obtêm-se pela separação de gases durante a extração e processamento do gás natural (cerca de 66%) e pela refinação do petróleo bruto (cerca de 34%) [62].

Neste sentido, o processo de refinação do petróleo consiste em operações de destilação fracionada, que se baseiam na diferença de temperaturas de ebulição, dando origem a vários produtos petrolíferos como o GPL. Neste processo, no topo da coluna, no destilado, recolhem-se os hidrocarbonetos mais leves (GPL) a temperaturas inferiores a 20° C. No processo de extração de gás natural é extraído também o GPL que se encontra na forma gasosa nas jazidas de gás natural [63].

O isobutano ou R600a é um composto químico, isómero do butano, frequentemente utilizado devido ao seu baixo impacto ambiental, sendo aplicado em equipamentos de refrigeração como frigoríficos e ar condicionado.

### 3.2.1.8 PRATELEIRAS DE AÇO PLASTIFICADO COM POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE

O polietileno de baixa densidade é um polímero obtido a partir do etileno através de uma polimerização via radical livre à alta temperatura e pressão. Este processo, exotérmico e homogéneo, consiste inicialmente na compressão do gás de etileno a alta pressão (1000 - 2000 atm) e aquecimento até à temperatura de iniciação da reação (100 - 300 °C). No reator, tubular ou autoclave, são adicionados os monómeros e o iniciador, que pode ser o oxigénio ou peróxidos orgânicos, o qual gera radicais livres que reagem com os monómeros, aumentando assim a cadeia do polímero. O produto final é obtido na forma de partículas esféricas de pequenas dimensões e homogêneas [64], [65].

O processo de plastificação das prateleiras de aço consiste em aplicar um revestimento de polietileno de baixa densidade sobre o aço. Este revestimento constitui 10% do peso total da prateleira.

### 3.2.2 PRODUÇÃO DOS COMPONENTES DO FRIGORÍFICO

Nesta secção descreve-se, por processos, a produção dos componentes realizados na fábrica Olitrem S.A.. Os processos incluem operações de conformação metálica (base da máquina, suporte de comandos, grelha traseira e frontal, lateral direita e esquerda, reforço da zona do motor, teto e fundo exterior, suporte do ventilador, painel transversal, topo superior, calço da dobradiça, reforço para o sistema de iluminação LED, reforço da dobradiça, reforço exterior da dobradiça, reforço interior do ventilador e reforço do motor) e de termoformação dos plásticos (cuba e costa).

#### 3.2.2.1 CONFORMAÇÃO METÁLICA

Após a receção e armazenagem, as lâminas metálicas são encaminhadas para os processos de **corte e quinagem**. Nestes processos as chapas metálicas são cortadas e dobradas, em dimensões e ângulos definidos, para produzir as peças metálicas do equipamento. Durante estes procedimentos são utilizadas quatro máquinas (SG6-1, SG6-2, SG6-3 e Express A5) que permitem realizar as operações de corte de forma automática.

As peças produzidas no processo de conformação metálica são a base da máquina, suporte de comandos, grelha traseira e frontal, lateral direita e esquerda, reforço da zona do motor, teto, fundo exterior, suporte do ventilador, painel transversal, topo superior, calço da dobradiça, reforço para o sistema de iluminação LED, reforço da dobradiça, reforço exterior da dobradiça, reforço interior do ventilador e reforço do motor.

Nesta etapa há produção de resíduos de chapas de aço galvanizado e plastificado que são encaminhados para uma empresa de reciclagem para posterior tratamento.

A Figura 7 ilustra uma das máquinas utilizadas durante o processo de conformação metálica. As Tabelas C-1 e C-2 (Anexo C) apresentam as especificações técnicas de cada uma das chapas galvanizadas e plastificadas antes e depois do corte.



Figura 7. Equipamento de conformação metálica.

### 3.2.2.2 TERMOFORMAÇÃO DOS PLÁSTICOS

O processo de termoformação dos plásticos compreende as operações de **extrusão** e **moldação por vácuo**. As peças produzidas nesta etapa são a cuba, que corresponde ao interior do armário (onde as prateleiras são deslizadas), e a costa, que corresponde à peça que é encostada à parede quando o equipamento é instalado. A cuba é fabricada pelo processo de **extrusão e moldação** enquanto que a costa é apenas fabricada pelo processo de **extrusão**. Na fabricação das peças utiliza-se o polímero HIPS 8260 devido à sua flexibilidade e maleabilidade. Na maioria dos casos, o polímero utilizado tem origem em material reciclado.

O processo de **extrusão** é um processo termo-mecânico realizado numa máquina extrusora de plástico com alimentação de polímeros HIPS 8260, pigmentos e aditivos. Os materiais, por ação da gravidade, são transportados para um cilindro aquecido por condução. Durante o processo ocorre calor por fricção, o que permite que os grânulos sejam aquecidos a uma temperatura próxima do seu ponto de fusão, que varia entre 165 - 230° C, formando um material pastoso que é empurrado e prensado. Desta forma, são extrudidas as placas de poliestireno de alto impacto para uma espessura de 4,0 mm (cuba) e 1,5 mm (costa). É de salientar que durante esta operação são previamente definidas as propriedades e qualidade da peça, como por exemplo, as dimensões, cor, brilho e dureza. As Figuras 8 e 9 ilustram respetivamente o funil de alimentação da máquina extrusora de plástico e o produto final - placas de poliestireno extrudidas.



**Figura 8.** Funil de alimentação da máquina extrusora de plástico.



**Figura 9.** Placa de poliestireno extrudida.

De seguida, é realizado o processo de **moldação por vácuo** para produzir a cuba do frigorífico. Neste processo, a placa, previamente extrudida, é aquecida através de um sistema de aquecimento por radiação e convecção, cuja temperatura de molde é 50° C e de superfície de resistência de 230° C. Através do calor, pressão (600 kPa) e vácuo (84 kPa), injeta-se ar para que a placa seja forçada contra um molde de alumínio, obtendo assim a configuração pretendida da cuba.

A Figura 10 ilustra um molde de alumínio utilizado para produzir a cuba do frigorífico.



Figura 10. Molde de alumínio.

Após a **moldação por vácuo**, é realizado o acabamento final da cuba através de robots de corte (Figura 11) que garantem o aspeto final da peça de acordo com a especificação e *design* desejada.



Figura 11. Robot de corte.

Os resíduos de plástico, produzidos nos processos de extrusão e acabamento final, são triturados e reintroduzidos novamente no processo de **extrusão**.

### 3.2.3 FABRICAÇÃO

Esta secção descreve as diferentes etapas de submontagem de interiores e exteriores, injeção de espuma de poliuretano, montagem de acessórios, montagem do circuito elétrico, acoplamento, montagem e controlo final, limpeza e embalagem, realizadas na unidade fabril, para a produção do frigorífico ARV400 SC PV Softline.

#### 3.2.3.1 SUBMONTAGEM DE INTERIORES E EXTERIORES

A etapa de submontagem de interiores e exteriores é realizada manualmente. Esta etapa tem como objetivo unir a estrutura metálica do equipamento, produzido na conformação metálica, com a secção interior de plástico, produzida na termoformação, sendo realizadas as seguintes tarefas:



- **Preparação das chapas laterais:** são fixados os reforços metálicos nas chapas laterais do equipamento (Figura 12);



Figura 12. Chapas laterais do equipamento [7].

- **Preparação do exterior:** Os painéis frontais superior e inferior são encaixados e unidos às laterais. É colocado o teto, o fundo e as costas do móvel, sendo unidos o painel frontal inferior ao fundo e o painel frontal superior ao teto. São colocados dois reforços, um para um puxador nas traseiras e outro no buraco em que é injetada a espuma de poliuretano (Figura 13);



Figura 13. Componentes metálicos do equipamento unidos [7].

- **Preparação do interior:** os cantos da cuba são cortados, para que fiquem arredondados, assim como os seus degraus (Figura 14). Este último passo é importante para que todo o ar interior saia durante a injeção da espuma de poliuretano. Nesta etapa, introduz-se o fio do sistema de iluminação LED, sendo também colocado o reforço (em chapa) para segurar o ventilador interior e outros reforços (em plástico) usados para aparafusar todos os componentes. Finalmente, é colocado o tubo do evaporador.



Figura 14. Cuba do frigorífico [7].

- **Encaixe do interior com o exterior:** o fio do sistema de iluminação LED é montado e a cuba é encaixada no exterior do armário (Figura 15).



Figura 15. Cuba encaixada no exterior do armário [7].

### 3.2.3.2 INJEÇÃO DE ESPUMA DE POLIURETANO

Nesta etapa é injetado ao armário do frigorífico a espuma de poliuretano, constituída por polioli Elastopor H 2000/26/LD e por isocianato PMDI 92140. Este processo é realizado utilizando uma máquina que injeta o composto químico entre a camada interior e exterior durante 10 segundos. Após um determinado tempo, a mistura, inicialmente líquida, expande-se até solidificar e transforma-se numa espuma sólida.

### 3.2.3.3 MONTAGEM DE ACESSÓRIOS

Esta etapa, realizada manualmente, consiste na montagem dos acessórios que constituem a base da máquina (ligações dos cabos e fios elétricos aos acessórios). Estes acessórios são o compressor, ventoinha, motoventilador e condensador, que são obtidos por fornecedores externos. Nesta fase há produção de resíduos, nomeadamente cabos e cobre, que são encaminhados para a Entidade Gestora para posterior tratamento.

Na Figura 16 apresenta-se a placa de montagem da base da máquina do frigorífico ARV400 SC PV Softline.



Figura 16. Placa de montagem da base da máquina do frigorífico em estudo.

#### 3.2.3.4 MONTAGEM DO CIRCUITO ELÉTRICO

O processo de cablagem, realizado de forma manual, consiste em instalar o circuito elétrico do frigorífico (instalação de cabos e ligações elétricas), que permitem o funcionamento do equipamento (Figura 17).



Figura 17. Circuito elétrico do frigorífico.

#### 3.2.3.5 ACOPLAMENTO

O acoplamento consiste em preparar o armário para colocar a base da máquina, porta e componentes elétricos. Esta fase é realizada manualmente por funcionários da empresa em 3 linhas: verde, azul e amarela. A linha amarela corresponde aos equipamentos de grandes dimensões, a linha azul aos equipamentos farmacêuticos e a linha verde aos restantes equipamentos. No frigorífico em análise, o acoplamento é realizado na linha amarela.

Inicialmente, é colocado o compressor no equipamento. São realizados dois furos no fundo, um para as passagens dos cabos e fios elétricos que ligam a base da máquina, e outro para o tubo de esgoto. Logo, é colocado e aparafusado o digital à base (Figura 18) e o sistema de iluminação LED no teto do frigorífico (Figura 19). É realizada a passagem dos fios elétricos e a sonda é prendida na costa do móvel.



**Figura 18.** Digital do frigorífico [7].



**Figura 19.** Iluminação LED no teto do frigorífico [7].

Em relação ao ventilador interno, são realizadas as ligações necessárias e este é aparafusado no equipamento. Posteriormente, é colocada a placa evaporadora. A proteção da placa evaporadora e do ventilador são fixadas ao frigorífico. É colocado o tubo de esgoto e, por fim, é inserida e aparafusada a base da máquina ao equipamento. A Figura 20 apresenta a proteção da placa evaporadora.



**Figura 20.** Proteção da placa evaporadora [7].

É colocada a porta de vidro ao armário (Figura 21) e ligado o fio do sistema de iluminação LED ao transformador. Finalmente, a grelha frontal é aparafusada.



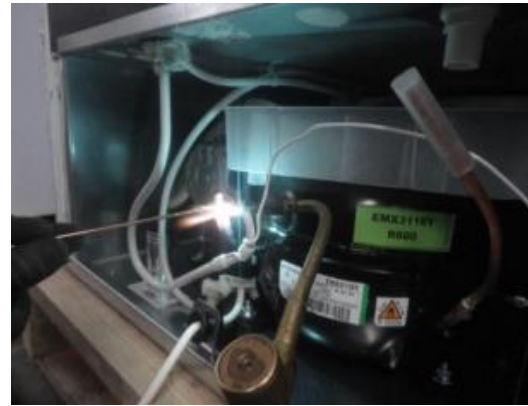
**Figura 21.** Colocação da porta de vidro ao armário [7].

### 3.2.3.6 MONTAGEM E CONTROLO FINAL

Durante esta etapa a montagem da base da máquina é concluída e é fixado o puxador, em poliamida preto, à porta do frigorífico. Os componentes elétricos são ligados ao compressor (Figura 22). Para o enchimento do gás, encaixa-se o tubo de cobre do armário no tubo de aspiração do compressor e realiza-se a soldagem a cobre (Figura 23). Coloca-se também o filtro no capilar e no tubo do condensador e solda-se a cobre o capilar e a prata o condensador.



**Figura 22.** Ligação dos componentes elétricos ao compressor [7].



**Figura 23.** Soldagem a cobre [7].

Posteriormente, é aplicado vácuo para carregar o gás refrigerante. O gás usado é função do modelo do frigorífico sendo, para o caso em avaliação, utilizado o gás de refrigeração R600a.

De seguida, são realizados vários testes para comprovar o correto funcionamento do frigorífico. Em primeiro lugar, são colocadas duas sondas que permitem verificar o desempenho do compressor e medir as temperaturas do equipamento em funcionamento. Verifica-se a iluminação e se existem fugas do gás refrigerante após o carregamento. São também realizados testes elétricos para confirmar que não existem choques elétricos e que o circuito elétrico está a funcionar corretamente. Por fim, a grelha traseira é fixada ao conjunto.

### 3.2.3.7 LIMPEZA

Durante a limpeza é removida a sujidade do frigorífico com benzina e limpa-vidros. O funcionário responsável realiza um controlo de qualidade final para identificação de defeito no equipamento.

### 3.2.3.8 EMBALAGEM

Finalmente, durante a etapa de embalagem são colocados dentro do frigorífico o manual de instruções, a Declaração de Conformidade CE, o manual de circuito elétrico, dois niveladores do frigorífico e o pin com a marca MARECOS. São inseridas quatro prateleiras e é colocado esferovite à frente delas para não partir a porta durante o transporte do frigorífico. A Figura 24 apresenta a colocação de esferovite à frente das prateleiras.



**Figura 24.** Prateleiras do frigorífico [7].

A embalagem de expedição inclui vários autocolantes que identificam, por exemplo, o local do puxador (Figura 25), o tipo de gás inflamável usado (R600a) e a placa de características (Figura 26).



**Figura 25.** Autocolante indicativo do local do puxador [7].



**Figura 26.** Autocolante relativo ao gás inflamável e placa de características [7].

O frigorífico é inserido numa caixa de cartão, a qual deve conter os autocolantes indicativos da quantidade máxima que se pode colocar por cima e a indicar que é um produto que possui vidro. De seguida, são colocadas duas cantoneiras de cartão, a ficha de expedição e o código de barras. A Figura 27 apresenta a embalagem final do frigorífico.



**Figura 27.** Frigorífico embalado [7].

Posteriormente, o frigorífico é armazenado para ser distribuído e comercializado.

### 3.2.4 TRANSPORTE

No que se refere ao transporte dentro da unidade de produção, este é realizado manualmente até à etapa de montagem e controlo final. Nessa etapa os frigoríficos são colocados e empurrados manualmente ao longo de uma banda transportadora manual, de forma a serem efetuadas as diferentes operações que ocorrem durante a etapa. Para isso, os frigoríficos são elevados até à altura da banda transportadora utilizando um elevador (que é alimentado por um sistema de ar comprimido). Após a limpeza do equipamento, o elevador desce o frigorífico da banda transportadora e transporta-o até à zona de embalagem. De referir que a fábrica possui uma central de ar comprimido.

O transporte externo inclui a movimentação de recursos até à fábrica Olitrem S.A., localizada em Santarém. A Tabela 4 discrimina as principais matérias-primas utilizadas na produção do frigorífico, localização do fornecedor e tipo de transporte efetuado.

**Tabela 4.** Localização do fornecedor e tipo de transporte das matérias-primas

<b>Matéria-prima</b>	<b>Localização</b>	<b>Tipo de transporte</b>
Chapas galvanizadas	Setúbal, Portugal	Rodoviário
Chapas plastificadas	Lisboa, Portugal	Rodoviário
Porta de vidro	Vălenii de Munte, Romênia	Rodoviário
Gás de refrigeração R600a	Lisboa, Portugal	Rodoviário
Espuma de poliuretano	Lisboa, Portugal	Rodoviário
Compressor	Torino, Itália	Rodoviário
Ventoinha	Valência, Espanha	Rodoviário
Motoventilador	Porto, Portugal	Rodoviário
Condensador	Aveiro, Portugal	Rodoviário
Evaporador	Changzhou, China	Marítimo
Prateleiras	Aveiro, Portugal	Rodoviário



Durante a fabricação do frigorífico ARV400 SC PV Softline vários resíduos são transportados até à empresa de reciclagem e à Entidade Gestora para posteriormente serem efetuados os devidos tratamentos. A Tabela 5 apresenta os resíduos produzidos, a localização da empresa de reciclagem e da Entidade Gestora e o tipo de transporte efetuado.

**Tabela 5.** Localização da empresa de reciclagem e da Entidade Gestora e tipo de transporte dos resíduos

Resíduo	Localização	Tipo de transporte
Sucata	Santarém, Portugal	Rodoviário
Cabos e cobre	Porto, Portugal	Rodoviário

### 3.2.5 UTILIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO

O tempo de vida útil do frigorífico é de 10 anos, sendo que durante esse tempo o frigorífico permanece ligado 24 horas por dia e sete dias por semana. As operações de manutenção/conserto necessárias ao longo do tempo de vida do equipamento podem estar relacionadas com a limpeza, substituição do sistema de iluminação ou de acessórios, ruídos originados pelos acessórios, como por exemplo o compressor ou a ventoinha, dificuldade de fechar a porta, problemas no funcionamento ou na refrigeração do frigorífico, entre outras.

### 3.2.6 ETAPAS DE FIM DE VIDA

#### 3.2.6.1 EM PORTUGAL

Os frigoríficos em fim de vida devem ser sujeitos a um tratamento adequado caso não seja preferível a preparação para reutilização, sendo proibida a eliminação dos equipamentos que não tenham sido sujeitos a tratamento. De acordo com o Decreto-Lei n.º 152-D/2017, de 11 de dezembro, os objetivos mínimos aplicáveis para os REEE pertencentes à categoria 1, na qual se enquadram os frigoríficos, indicam que 85% dos materiais devem ser valorizados (reutilização, reciclagem e valorização energética) e 80% devem ser preparados para reutilização e reciclados. Em relação aos gases dos circuitos de refrigeração, estes devem ser extraídos e tratados em conformidade com o Regulamento (CE) n.º 1005/2009, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de setembro de 2009 [10].

Em Portugal, os REEE são reencaminhados para um Operador de Tratamento de Resíduos devidamente licenciado. Os resíduos são desmantelados para posterior valorização, sendo os seus componentes separados e, sempre que possível, incorporados em novos equipamentos. Atualmente, os valores de tratamento rondam entre 200 e 300 €/tonelada [6].

A Figura 28 apresenta o fluxograma relativo às atividades de fim de vida dos frigoríficos em Portugal.



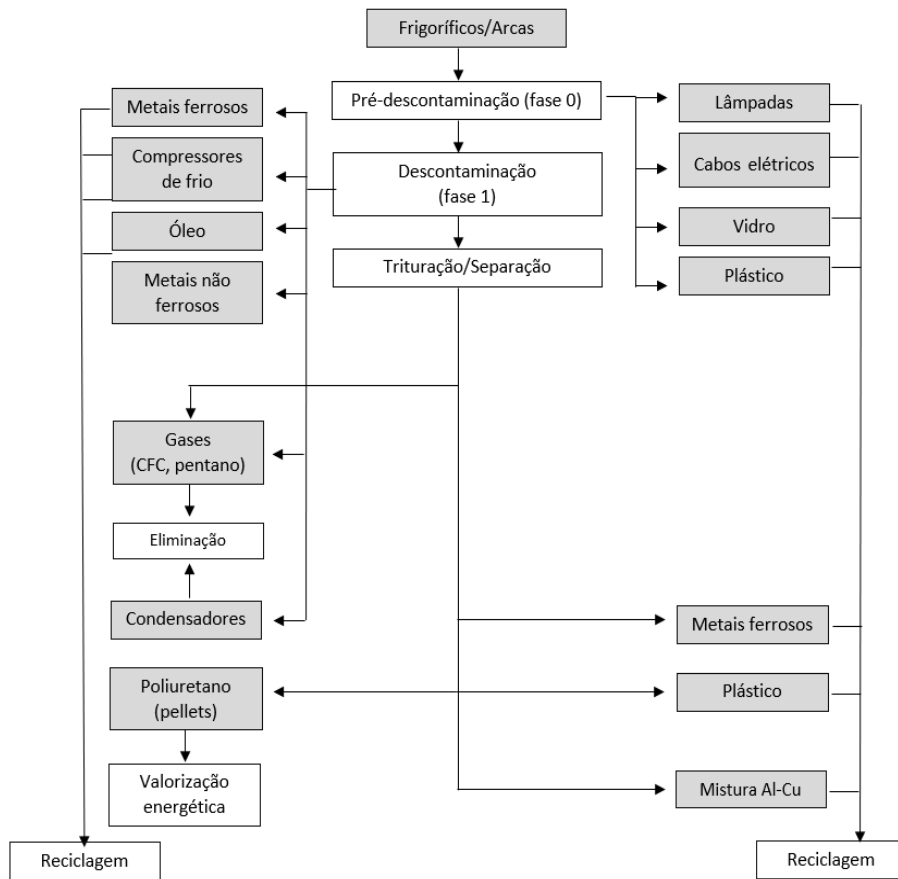


Figura 28. Fluxograma das atividades de fim de vida dos frigoríficos em Portugal [6].

Durante a pré-descontaminação e descontaminação, os metais ferrosos e não ferrosos, componentes elétricos (como lâmpadas e cabos), vidros, plásticos e óleo são removidos e recuperados para serem valorizados industrialmente.

O compressor é retirado do equipamento e os seus componentes reciclados. O condensador é também retirado e eliminado, sendo enviado para incineração em Portugal. O líquido de refrigeração é aspirado e armazenado em recipientes adequados para ser posteriormente eliminado, em Espanha ou França, sendo que 50% tem como destino a valorização energética e os outros 50% a incineração sem valorização energética. A espuma de poliuretano presente nos frigoríficos é encaminhada para valorização energética em Portugal [66].

Posteriormente, as carcaças destes equipamentos são encaminhadas para um triturador/separador, onde os materiais são separados e enviados para reciclagem [66].

A Tabela 6 apresenta quais são os componentes dos frigoríficos que são extraídos no desmantelamento em Portugal.

**Tabela 6.** Componentes extraídos no desmantelamento dos frigoríficos em Portugal [6]

Componentes dos frigoríficos
Condensadores com policlorobifenilos
Componentes contendo mercúrio
CFC, HCFC, HFC, HC
Cabos elétricos
Metais ferrosos
Metais não ferrosos
Plásticos (sem retardador de chama)
Vidro
Óleo
Motores e transformadores
Resíduos industriais banais
Pentanos
Poliuretano

### 3.2.6.2 EM OUTROS PAÍSES

Nesta secção identificam-se as atividades de fim de vida dos componentes dos frigoríficos que são realizadas em alguns dos países estudados anteriormente na revisão bibliográfica, nomeadamente Equador e China. O foco nestes países deve-se à falta de informação relativa às operações de gestão de fim de vida em países da Europa.

O Equador tem como objetivo a reciclagem de 95% dos constituintes dos frigoríficos e a deposição em aterro ou incineração dos restantes 5% [29].

Na Tabela 7 encontram-se as atividades de fim de vida realizadas no Equador de alguns dos componentes que constituem os frigoríficos.

**Tabela 7.** Atividades de fim de vida dos componentes dos frigoríficos no Equador [29]

Componentes	Atividades de fim de vida
Aço	Reciclagem
Alumínio	Reciclagem
Cobre	Reciclagem
Plástico	Reciclagem
CFC	Tratamento para reutilização
Outros materiais	Incineração

Em relação à China, a Tabela 8 apresenta as atividades de fim de vida dos materiais que constituem um frigorífico doméstico chinês.

**Tabela 8.** Atividades de fim de vida dos componentes de um frigorífico doméstico na China [30]

<b>Componentes</b>	<b>Recuperação (%)</b>	<b>Deposição em aterro (%)</b>
Compressor	100%	0%
Líquido de refrigeração R600a	90%	10%
Prateleiras de PVC e HIPS	100%	0%
Aço	98%	2%
Espuma de poliuretano	99,99%	0,01%
Alumínio	98%	2%
Plástico	99,95%	0,05%
Cobre	98%	2%
Borracha	100%	0%

## 4. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO FRIGORÍFICO

### 4.1 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO FRIGORÍFICO

Esta secção tem como objetivo aplicar a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida, apresentada anteriormente, ao frigorífico do modelo ARV400 SC PV Softline, um dos equipamentos mais comercializados da empresa Olitrem S.A.. Em primeiro lugar, é necessário definir o objetivo e âmbito do trabalho, a Unidade Funcional e as Fronteiras do sistema.

#### 4.1.1 DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ÂMBITO

O objetivo da presente dissertação pretende identificar e avaliar os potenciais impactes ambientais relacionados com o ciclo de vida do frigorífico ARV400 SC PV Softline, fabricado pela empresa Olitrem S.A.. A abordagem aplicada da metodologia de ACV permite avaliar as etapas do ciclo de vida que vão desde a extração e produção dos recursos até à utilização do frigorífico. O inventário realizado tem por base a informação fornecida pela empresa Olitrem S.A., referente às tecnologias utilizadas, consumos de materiais e energia, complementada pela bibliografia e bases de dados disponíveis no *software SimaPro* versão 8.5.2 (*Pré Consultants, 2017*). Esta avaliação inclui a quantificação dos impactes ambientais para as fases do ciclo de vida do produto, a comparação dos resultados obtidos com os da bibliografia existente, assim como a identificação de oportunidades de melhoria para minimizar os impactes ambientais associados à fabricação do equipamento.

#### 4.1.2 UNIDADE FUNCIONAL E FRONTEIRAS DO SISTEMA

A Unidade Funcional, usada como referência nesta dissertação, é um frigorífico, de uso comercial ou industrial, com um tempo de vida estimado em 10 anos, para ser utilizado 24 horas por dia. O frigorífico possui uma porta de vidro, pesa 76 kg e possui quatro prateleiras. As especificações técnicas foram mencionadas anteriormente na secção 2.2.1 e o Anexo A possui as dimensões do frigorífico.

A Figura 29 apresenta as Fronteiras do sistema em estudo onde se podem observar as operações que lhes estão associadas:

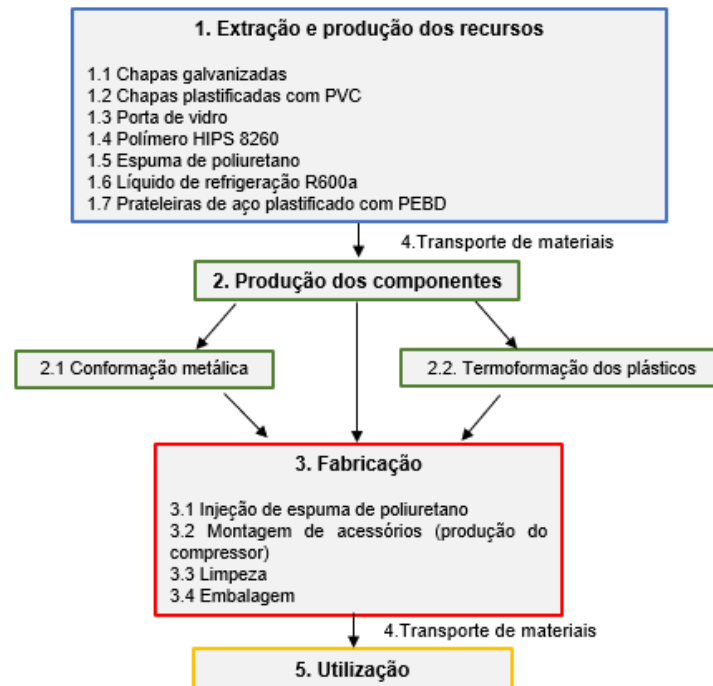


Figura 29. Fronteiras do sistema em estudo.

Na presente dissertação as fases do ciclo de vida do frigorífico incluem a extração e produção dos recursos, produção dos componentes, fabricação, transporte (externo e interno) e utilização do frigorífico. Este estudo exclui a etapa de fim de vida, uma vez que o principal objetivo da tese é avaliar os impactes ambientais relevantes para o produtor do frigorífico, de modo a implementar medidas que possam contribuir para a diminuição do impacte ambiental durante a fabricação do equipamento. O trabalho também exclui do seu sistema os potenciais impactes de algumas operações indiretamente associadas ao produto, como por exemplo, as operações associadas ao funcionamento das áreas administrativas e a fabricação e manutenção das máquinas usadas na empresa.

Em relação aos materiais utilizados na fabricação do frigorífico, serão analisados os seguintes componentes do armário: porta de vidro, chapas de aço galvanizado, chapas de aço plastificado com PVC, plástico e prateleiras de aço plastificado com polietileno de baixa densidade, uma vez que são os componentes com maior relevância, ou seja, possuem maior peso físico (Figura 30). Serão também avaliados a espuma de poliuretano e o líquido de refrigeração por serem materiais perigosos para o ambiente. O compressor, produtos de limpeza e material de embalagem também serão analisados. Assim, o peso total dos materiais que serão analisados é de 73 kg, sendo o peso total do equipamento de 76 kg.

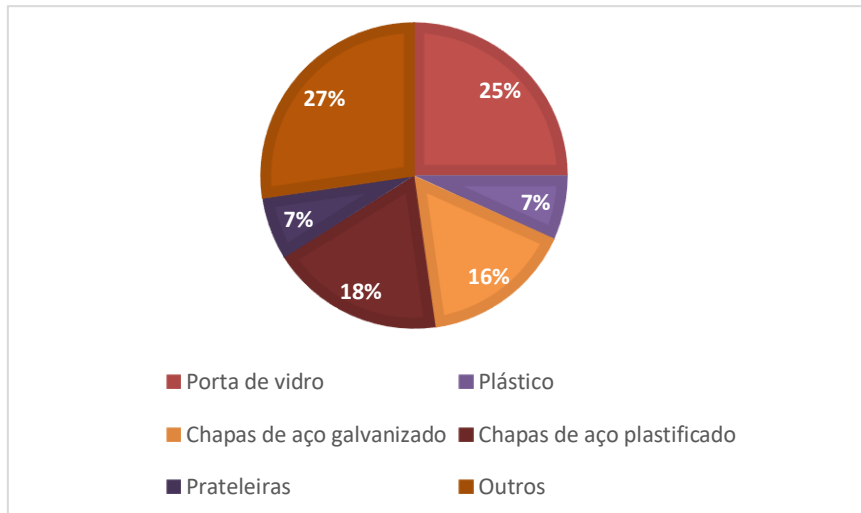


Figura 30. Componentes do frigorífico, em percentagem.

A operação de fabricação das chapas plastificadas com PVC e das prateleiras fabricadas com PEBD não será modelada pela ausência de informação, apenas serão considerados os materiais que constituem estes componentes. O motoventilador, ventoinha, evaporador e condensador foram excluídos da análise, uma vez que não há dados suficientes sobre a produção destes acessórios na bibliografia. Como critério de exclusão foram excluídos todos os materiais (como por exemplo, parafusos, cabos, fita adesiva e porcas) com peso inferior a 1 kg que são simultaneamente considerados materiais não perigosos.

Por falta de informação sobre a produção, não foram consideradas na modelação as seguintes peças metálicas do frigorífico: o calço da dobradiça, reforço para o sistema de iluminação LED, reforço da dobradiça, reforço exterior da dobradiça, reforço interior do ventilador e reforço do motor. Não foi considerado o consumo energético relativo ao uso do ar comprimido da máquina de termoformação COMI 1900 e do elevador, uma vez que estes não possuem um equipamento de medição. Também foram excluídos o ar comprimido e o consumo de energia relativo ao uso do ar comprimido associados à injeção do líquido de refrigeração (a quantidade de ar comprimido é residual, ou seja, a quantidade é muito reduzida pelo que não é possível quantificá-la) e à máquina MAPO (o ar comprimido é usado no acionamento de válvulas e cilindros).

Finalmente, será analisado o transporte interno, mais especificamente o ar comprimido utilizado no elevador, e o transporte externo desde o fornecedor até à Olitrem S.A. dos seguintes materiais: chapas galvanizadas e plastificadas, porta de vidro, líquido de refrigeração, espuma de poliuretano, compressor, ventoinha, motoventilador, condensador e prateleiras, assim como o transporte da sucata desde a Olitrem S.A. até à empresa de reciclagem. Não foi contabilizado, por falta de dados suficientes, o transporte do evaporador desde a China à Olitrem S.A., assim como o transporte dos cabos e fios elétricos desde a Olitrem S.A. à Entidade Gestora.

## 4.2 ANÁLISE DO INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA

A inventariação de todas as entradas e saídas, referentes ao consumo de materiais e energia, foram resultado de informação empresarial cedida pela empresa Olitrem S.A., complementada pela bibliografia e pelas bases de dados disponíveis no *SimaPro*. A Tabela 9 identifica o inventário associado às diferentes etapas analisadas do ciclo de vida do frigorífico. Os dados do inventário foram adaptados e reportados à Unidade Funcional.

Tabela 9. Inventário do ciclo de vida, expresso em função da Unidade Funcional

Etapa	Componentes e processos de produção do frigorífico	Material/energia	Quantidade	Unidade
<b>Entradas do Sistema</b>				
Extração e produção dos recursos	Chapas galvanizadas	Chapa de aço galvanizada <sup>1)</sup>	12,17	kg
	Chapas plastificadas	Aço <sup>2)</sup>	13,79	kg
		PVC <sup>2)</sup>	0,14	kg
	Porta de vidro	Vidro plano <sup>3)</sup>	19	kg
	Polímero HIPS 8260	Grânulos de poliestireno de alto impacto	5,14	kg
	Espuma de poliuretano	Poliol	2,56	kg
		Isocianato PMDI	4,05	kg
	Líquido de refrigeração	R134a <sup>4) 5)</sup>	0,08	kg
Prateleiras	Aço <sup>6)</sup>	4,5	kg	
	Polietileno de baixa densidade <sup>6)</sup>	0,5	kg	
Produção dos componentes	Conformação metálica	Energia das máquinas SG6 <sup>7)</sup>	4,530	kWh
		Energia da máquina Express A5 <sup>8)</sup>	0,543	kWh
	Termoformação dos plásticos	Energia da máquina extrusora <sup>9) 10)</sup>	4,000	kWh
		Energia da máquina extrusora <sup>9) 11)</sup>	1,458	kWh
		Energia da máquina de moldação <sup>10) 12)</sup>	6,667	kWh
		Ar comprimido <sup>13)</sup>	0,341	m <sup>3</sup>
		Energia do robot de corte (serra circular) <sup>14)</sup>	0,013	kWh
		Energia do triturador <sup>15)</sup>	0,125	kWh
Fabricação	Injeção de espuma de poliuretano	Energia da máquina de injeção <sup>16)</sup>	0,081	kWh

Tabela 9. Inventário do ciclo de vida, expresso em função da Unidade Funcional (cont.)

Etapa	Componentes e processos de produção do frigorífico	Material/energia	Quantidade	Unidade
Fabricação	Injeção de espuma de poliuretano	Energia da máquina do molde de injeção do armário <sup>17)</sup>	4,333	kWh
	Montagem de acessórios (produção do compressor)	Água <sup>18)</sup>	0,033	m <sup>3</sup>
		Aço <sup>18)</sup>	14.926	g
		Cobre <sup>18)</sup>	1.258	g
		Alumínio <sup>18)</sup>	1.581	g
		Energia <sup>18)</sup>	2,519	kWh
	Limpeza	Ar comprimido <sup>18)</sup>	0,048	m <sup>3</sup>
		Benzina	0,164	kg
Embalagem	Limpa-vidros <sup>19)</sup>	0,00911	kg	
	Caixa de cartão	2,70	kg	
Transporte	Elevador	Ar comprimido <sup>20)</sup>	0,10	m <sup>3</sup>
	Chapas plastificadas	Transporte desde o fornecedor até à Olitrem (Terrestre) <sup>21)</sup> <sup>22) 23)</sup>	1,070	tkm
	Chapas galvanizadas	Transporte desde o fornecedor até à Olitrem (Terrestre) <sup>21)</sup> <sup>22) 23)</sup>	1,082	tkm
	Porta de vidro	Transporte desde o fornecedor até à Olitrem (Terrestre) <sup>21)</sup> <sup>22) 23)</sup>	55,29	tkm
	Líquido de refrigeração	Transporte desde o fornecedor até à Olitrem (Terrestre) <sup>21)</sup> <sup>22) 23)</sup>	0,0059	tkm
	Espuma de poliuretano	Transporte desde o fornecedor até à Olitrem (Terrestre) <sup>21)</sup> <sup>22) 23)</sup>	0,477	tkm
	Compressor	Transporte desde o fornecedor até à Olitrem (Terrestre) <sup>21)</sup> <sup>22) 23)</sup>	15,532	tkm
	Ventoinha	Transporte desde o fornecedor até à Olitrem (Terrestre) <sup>21)</sup> <sup>22) 23)</sup>	0,0717	tkm
	Montoventilador	Transporte desde o fornecedor até à Olitrem (Terrestre) <sup>21)</sup> <sup>22) 23)</sup>	0,305	tkm
	Condensador	Transporte desde o fornecedor até à Olitrem (Terrestre) <sup>21)</sup> <sup>22) 23)</sup>	0,284	tkm



Tabela 9. Inventário do ciclo de vida, expresso em função da Unidade Funcional (cont.)

Etapa	Componentes e processos de produção do refrigerador	Material/energia	Quantidade	Unidade
Transporte	Prateleiras	Transporte desde o fornecedor até à Olitrem (Terrestre) <sup>21)</sup> <sup>22)</sup> <sup>23)</sup>	9,937	tkm
	Sucata	Transporte desde a Olitrem até à empresa de reciclagem (Terrestre) <sup>21)</sup> <sup>22)</sup> <sup>23)</sup>	0,0408	tkm
Utilização	Frigorífico	Energia elétrica <sup>24)</sup>	24.194	kWh
	Sistema de iluminação LED	Energia elétrica <sup>25)</sup>	4,383	kWh
<b>Saídas do Sistema</b>				
Produção dos componentes	Conformação metálica	Sucata <sup>26)</sup>	1,232	kg
Fabricação	Montagem de acessórios (produção do compressor)	Dióxido de azoto <sup>18)</sup>	0,022	g
		Hidrocarbonetos não metânicos <sup>18)</sup>	1,205	g
		Carência química de oxigénio <sup>18)</sup>	5,528	g
		Sólidos suspensos <sup>18)</sup>	2,211	g
		Azoto amoniacal <sup>18)</sup>	0,221	g

1. A base de dados usada inclui a extração das matérias-primas e o processo de galvanização das chapas de aço. A base de dados inclui a utilização de aço de sucata;
2. Como não existe uma base de dados no *SimaPro* (versão 8.5.2) para as chapas plastificadas com PVC, utilizou-se uma base de dados para a produção do aço e outra para a produção do PVC;
3. Considerou-se o vidro plano como o tipo de vidro utilizado para a porta do refrigerador;
4. Uma vez que a base de dados do *SimaPro* (versão 8.5.2) não inclui o líquido de refrigeração R600a, considerou-se o R134a;
5. O líquido refrigerante é constituído 50% por tricloroetileno e 50% por tetracloroetileno;
6. Como não existe uma base de dados no *SimaPro* (versão 8.5.2) para as prateleiras de aço fabricadas com PEBD, utilizou-se uma base de dados para a produção do aço e outra para a produção do PEBD;
7. Energia elétrica consumida pelas máquinas SG6 de potência 30 kW;
8. Energia elétrica consumida pela máquina Express A5 de potência 22 kW;
9. Energia elétrica consumida pela máquina extrusora MAPO de 150 kW;
10. Produção da placa da cuba;
11. Produção da placa da costa;
12. Energia da máquina de moldação COMI 1900 de 100 kW para produção da cuba;
13. Ar comprimido para a produção da cuba na máquina de moldação COMI 1900;
14. Energia elétrica consumida pelo robot de corte (serra circular) de 0,75 kW;
15. Energia elétrica consumida pelo triturador de plástico de 45 kW;
16. Máquina que mistura o polioli e isocianato e injeta a mistura para o interior do armário (29 kW);
17. Máquina de aquecimento que mantém a temperatura durante a expansão do produto (20 kW);

18. Produção do compressor em Itália. O inventário de materiais, energia e água do compressor foi retirado de um estudo chinês em que é aplicada a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida a um frigorífico doméstico;
19. Limpa-vidros à base de amoníaco;
20. Ar comprimido utilizado para subir e descer o frigorífico da banda transportadora;
21. O transporte foi modelizado utilizando uma base de dados do *SimaPro* (versão 8.5.2) que considera o fabrico, manutenção e tratamento de fim de vida do veículo e via rodoviária;
22. Por falta de confirmação presencial, considerou-se o transporte terrestre utilizando um camião de 7,5 - 16 toneladas de peso bruto do veículo e de norma EURO 5;
23. A unidade utilizada é a tkm, onde é multiplicado o peso do material, em toneladas, pela distância percorrida pelo meio de transporte, em quilómetros. Esta distância foi calculada com auxílio do *software Google Maps* (Tabela D-1 do Anexo D). Já as emissões relativas à combustão do combustível consumido foram estimadas pelas bases de dados do *SimaPro* (versão 8.5.2);
24. Energia elétrica consumida pelo frigorífico de 276 W durante 10 anos em Portugal;
25. Energia elétrica consumida pelo sistema de iluminação LED de 14,4 W. Como a lâmpada LED só funciona quando o frigorífico é aberto, considerou-se que este é aberto 20 vezes por dia durante 15 segundos;
26. Resíduo das chapas galvanizadas e plastificadas.

Dada a influência que o tipo de gás de refrigeração possui nos cálculos dos impactes ambientais, especificamente para a categoria de aquecimento, neste trabalho foi realizada uma análise sobre este relevante parâmetro [27].

A relevância deste estudo alia-se ao facto de que o gás de refrigeração efetivamente usado no frigorífico - R600a não constar na base de dados do *Simapro* (versão 8.5.2) e, por isso, a modelação ter sido construída usando a base de dados disponível referente ao R134a. Dada a importância deste gás para o impacte ambiental, foi pesquisado qual o potencial para o aquecimento global destes dois gases (Tabela 10). Apenas foi possível identificar este fator, o que inviabilizou a avaliação de impactes para o gás usado no frigorífico.

Tabela 10. Potencial de aquecimento global do R134a e R600a

GWP	R134a [67]	R600a [68]
Potencial GWP = 100 CO <sub>2</sub> - eq	1430	3

Como se pode observar na Tabela 10, o líquido de refrigeração R600a é um hidrocarboneto que tem um potencial muito reduzido para o aquecimento global quando comparado com o R134a. Assim, é evidente que a substituição do líquido de refrigeração R134a pelo R600a é sensível ao parâmetro de aquecimento global, pelo que os resultados obtidos de impacte para o R134a contribuem para um maior impacte ambiental relativo à categoria de aquecimento global do frigorífico.

## 5. AVALIAÇÃO DOS IMPACTES AMBIENTAIS

Nesta secção são quantificados os impactes ambientais do armário de refrigeração ARV400 SC PV Softline, fabricado pela empresa Olitrem S.A., tendo por base os dados do inventário. De acordo com a norma NP ISO 14040:2006, optou-se por conduzir o estudo tendo em conta as etapas obrigatórias (Seleção, Classificação e Caracterização) com recurso ao *software SimaPro* (versão 8.5.2). Estes resultados permitem conhecer quais as contribuições dos poluentes e de cada etapa, associados ao ciclo de vida do equipamento, para cada categoria de impacte ambiental.

Para avaliar os impactes ambientais, recorreu-se ao o método desenvolvido pelo *Center of Environmental Science* da Universidade de Leiden, na Holanda, nomeadamente *CML-IA baseline* (versão 3.04).

### 5.1 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE IMPACTES AMBIENTAIS

A Figura 31 apresenta os resultados obtidos no *SimaPro* (versão 8.5.2) para a avaliação dos impactes ambientais associados ao frigorífico.

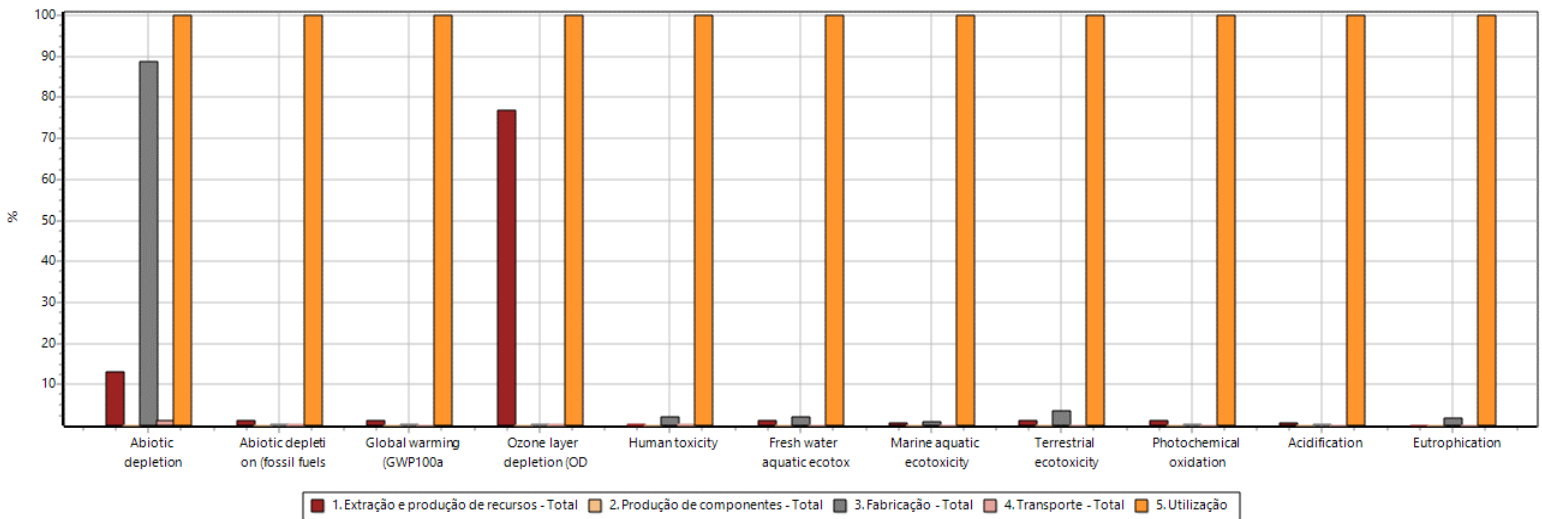


Figura 31. Impactes ambientais associados ao frigorífico usando a metodologia CML-IA baseline (versão 3.04).

Como se pode observar na Figura 31, a etapa de utilização é a mais nociva para o meio ambiente, sendo esta etapa aquela que apresenta maiores contribuições em todas as categorias de impacte. Esta etapa representa a fração mais significativa uma vez que o tempo de utilização considerado (10 anos) é bastante longo e que, aproximadamente, 29% da energia disponível na rede de distribuição em Portugal Continental é produzida com recurso a combustíveis fósseis. A etapa de extração e produção dos recursos é a segunda maior contribuidora para a maior parte dos impactes associados ao ciclo de vida do frigorífico. Esta etapa apresenta contribuições muito significativas para as categorias de Depleção Abiótica e Depleção da camada de ozono. A etapa de fabricação apresenta um impacte ambiental mais reduzido, com exceção da categoria de Depleção Abiótica. Já as etapas de produção dos componentes e transporte apresentam contribuições bastante reduzidas em todas as categorias de impacte, sendo as etapas menos contribuidoras [69].

A Tabela 11 apresenta os valores absolutos de cada categoria de impacte ambiental para cada etapa do ciclo de vida.

**Tabela 11.** Impactes ambientais associados ao ciclo de vida do frigorífico e qual a sua contribuição para cada categoria de impacte

Etapas	Constituintes	Ecotoxicidade marinha (kg 1,4-DB eq)	Depleção Abiótica (Combustíveis fósseis) (MJ)	Aquecimento Global (kg CO <sub>2</sub> eq)	Toxicidade Humana (kg 1,4-DB eq)	Ecotoxicidade em água doce (kg 1,4-DB eq)	Acidificação (kg SO <sub>2</sub> eq)	Ecotoxicidade Terrestre (kg 1,4-DB eq)	Eutrofização (kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq)	Depleção da camada de Ozono (kg CFC-11 eq)	Oxidação Fotoquímica (kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq)	Depleção Abiótica (kg Sb eq)
Extração e produção de recursos	Chapas galvanizadas	7,25E+03	3,14E+02	3,05E+01	1,07E+00	2,39E-02	8,40E-02	3,11E-02	6,04E-03	3,70E-07	1,33E-02	6,93E-04
	Chapas plastificadas	1,99E+04	2,26E+02	2,54E+01	1,16E+01	8,02E+00	1,01E-01	4,32E-02	4,14E-02	1,17E-06	1,65E-02	2,20E-05
	Porta de vidro	2,89E+04	2,30E+02	1,96E+01	4,80E+00	2,93E+00	1,73E-01	1,68E-02	2,19E-02	2,25E-06	5,99E-03	5,53E-05
	Polímero HIPS 8260	2,31E+02	4,03E+02	1,26E+01	2,17E-01	3,21E-02	2,88E-02	1,48E-02	2,55E-03	8,82E-08	2,36E-03	2,99E-06
	Espuma de poliuretano	3,30E+04	5,26E+02	2,67E+01	2,90E+00	6,15E+00	1,06E-01	3,92E-02	1,83E-02	3,06E-08	5,37E-03	3,96E-06
	Líquido de refrigeração	1,06E+03	1,06E+01	7,72E+00	3,72E-01	1,84E-01	7,43E-03	3,12E-03	1,10E-03	8,29E-04	2,89E-04	1,13E-05
	Prateleiras	7,53E+03	6,56E+01	3,30E+00	3,32E+00	5,38E+00	1,52E-02	2,93E-01	6,11E-03	2,76E-07	1,05E-03	1,84E-05
Produção dos componentes	Conformação metálica	3,12E+03	3,18E+01	2,68E+00	6,29E-01	6,86E-01	1,84E-02	6,63E-03	3,13E-03	2,30E-07	7,49E-04	1,28E-06
	Termoformação dos plásticos	7,46E+03	7,64E+01	6,46E+00	1,51E+00	1,31E+00	4,45E-02	1,61E-02	7,59E-03	5,51E-07	1,81E-03	3,10E-06
Fabricação	Injeção de espuma poliuretano	2,67E+03	1,10E-06	2,32E+00	5,40E-01	4,67E-01	1,60E-02	5,75E-03	2,71E-03	1,97E-07	6,49E-04	2,74E+01
	Montagem de acessórios (produção do compressor)	1,13E+05	5,31E-03	1,64E+01	5,78E+01	4,82E+01	1,62E-01	1,10E+00	2,46E-01	1,64E-06	1,02E-02	2,02E+02
	Limpeza	9,05E+01	5,11E-08	3,22E-01	5,37E-02	1,68E-02	1,11E-03	1,35E-04	8,09E-05	3,64E-09	6,21E-05	1,11E+01
	Embalagem	1,75E+04	3,41E-05	2,54E+00	1,50E+00	3,38E+00	9,42E-03	4,48E-02	6,56E-03	2,85E-07	5,80E-04	3,49E+01
Transporte	Elevador	9,89E+00	6,63E-02	5,63E-03	3,17E-03	3,21E-03	2,96E-05	4,40E-05	1,79E-05	6,71E-10	1,30E-06	1,43E-08
	Chapas galvanizadas	7,42E+01	3,59E+00	2,30E-01	6,93E-02	2,17E-02	7,34E-04	3,26E-04	1,67E-04	4,20E-08	3,80E-05	8,27E-07
	Chapas plastificadas	7,34E+01	3,55E+00	2,27E-01	6,86E-02	2,15E-02	7,26E-04	3,22E-04	1,65E-04	4,15E-08	3,76E-05	8,18E-07
	Porta de vidro	3,79E+03	1,83E+02	1,17E+01	3,54E+00	1,11E+00	3,75E-02	1,67E-02	8,51E-03	2,14E-06	1,94E-03	4,23E-05
	Líquido de refrigeração	4,08E-01	1,97E-02	1,26E-03	3,81E-04	1,19E-04	4,03E-06	1,79E-06	9,15E-07	2,31E-10	2,09E-07	4,54E-09

**Tabela 11.** Impactes ambientais associados ao ciclo de vida do frigorífico e qual a sua contribuição para cada categoria de impacte (cont.)

Etapas	Constituintes	Ecotoxicidade marinha (kg 1,4-DB eq)	Depleção Abiótica (Combustíveis fósseis) (MJ)	Aquecimento Global (kg CO <sub>2</sub> eq)	Toxicidade Humana (kg 1,4-DB eq)	Ecotoxicidade em água doce (kg 1,4-DB eq)	Acidificação (kg SO <sub>2</sub> eq)	Ecotoxicidade Terrestre (kg 1,4-DB eq)	Eutrofização (kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq)	Depleção da camada de Ozono (kg CFC-11 eq)	Oxidação Fotoquímica (kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq)	Depleção Abiótica (kg Sb eq)
Transporte	Espuma de poliuretano	3,27E+01	1,58E+00	1,01E-01	3,06E-02	9,57E-03	3,24E-04	1,44E-04	7,35E-05	1,85E-08	1,68E-05	3,65E-07
	Compressor	1,07E+03	5,15E+01	3,30E+00	9,95E-01	3,11E-01	1,05E-02	4,68E-03	2,39E-03	6,02E-07	5,46E-04	1,19E-05
	Ventoinha	4,92E+00	2,38E-01	1,52E-02	4,60E-03	1,44E-03	4,87E-05	2,16E-05	1,10E-05	2,78E-09	2,52E-06	5,48E-08
	Motoventilador	2,09E+01	1,01E+00	6,47E-02	1,95E-02	6,12E-03	2,07E-04	9,19E-05	4,70E-05	1,18E-08	1,07E-05	2,33E-07
	Condensador	1,95E+01	9,42E-01	6,03E-02	1,82E-02	5,70E-03	1,93E-04	8,56E-05	4,37E-05	1,10E-08	9,98E-06	2,17E-07
	Prateleiras	6,82E+02	3,30E+01	2,11E+00	6,37E-01	1,99E-01	6,74E-03	2,99E-03	1,53E-03	3,85E-07	3,49E-04	7,60E-06
	Sucata	2,80E+00	1,35E-01	8,66E-03	2,61E-03	8,18E-04	2,77E-05	1,23E-05	6,28E-06	1,58E-09	1,43E-06	3,12E-08
Utilização	Frigorífico	1,47E+07	1,50E+05	1,27E+04	2,96E+03	2,56E+03	8,76E+01	3,15E+01	1,49E+01	1,08E-03	3,56E+00	6,03E-03
	Sistema de iluminação LED	2,65E+03	2,72E+01	2,30E+00	5,36E-01	4,64E-01	1,59E-02	5,71E-03	2,69E-03	1,96E-07	6,44E-04	1,09E-06

O consumo de eletricidade associado ao sistema de iluminação é bastante reduzido quando comparado com o consumo do próprio frigorífico, tendo por esta razão um impacte quase desprezável no tempo de vida útil.

Analisando apenas o impacte associado à etapa de extração e produção dos recursos, verifica-se uma grande contribuição na categoria de Depleção da camada de ozono, associada à produção do líquido de refrigeração R134a, e na categoria de Depleção Abiótica, associada à produção das chapas galvanizadas. Nesta etapa verifica-se que, na maioria das categorias analisadas, as maiores fontes de poluentes são as chapas galvanizadas, chapas plastificadas com PVC e porta de vidro, seguidas pela espuma de poliuretano e líquido de refrigeração. Por outro lado, existem algumas contribuições significativas, principalmente, nas categorias de Ecotoxicidade terrestre e Ecotoxicidade em água doce, associadas às prateleiras de aço plastificado com PEBD, e nas categorias de Depleção Abiótica (combustíveis fósseis) e Aquecimento Global (100 anos), associadas ao polímero HIPS 8260.

Na fabricação verificam-se grandes contribuições associadas à produção de acessórios (produção do compressor), à energia elétrica consumida pelas máquinas para a injeção da espuma de poliuretano e à produção da caixa de cartão utilizada para a embalagem do frigorífico.

Em relação aos transportes, a distribuição da porta de vidro (desde a Romênia), por meio terrestre, representa a operação mais relevante para a maior parte das categorias analisadas, seguida do transporte do compressor desde a Itália. Naturalmente, os impactes ambientais desta etapa estão associados ao consumo de combustível e às emissões resultantes dessa combustão. No que diz respeito à produção dos componentes, verifica-se um maior impacte associado à termoformação dos plásticos quando comparada com a conformação metálica.

Tal como na presente dissertação, a bibliografia referente aos estudos realizados no *Equador* e na *China* defendem que as etapas de utilização e extração e produção dos recursos são as que mais contribuem para o impacte ambiental dos frigoríficos. O estudo realizado na *Itália*, que foca a comparação de duas espumas de poliuretano, defende também que a etapa de utilização do frigorífico é a que apresenta maiores contribuições no ciclo de vida. No tempo de vida útil, o frigorífico doméstico chinês consome 30.681 kWh em 10 anos, enquanto que para o mesmo tempo, o frigorífico doméstico fabricado no *Equador* consome 21.915 kWh e o fabricado na *Itália*, com a espuma tradicional, em 12 anos consome 31.873 kWh. Comparando estes valores com o do presente estudo (24.194 kWh), verifica-se que apesar do consumo de eletricidade no frigorífico chinês ser o mais elevado, os valores de consumo são semelhantes nos quatro equipamentos. Para a etapa de extração e produção dos recursos, os estudos do *Equador* e da *China*, tal como o presente estudo, afirmam que os metais, os plásticos e a espuma isolante são os materiais que mais contribuem para os impactes. Do mesmo modo, os estudos apresentam impactes mais reduzidos na etapa de transporte.

Analisando especificamente o frigorífico chinês, conclui-se que este possui maior impacte nas categorias de Depleção Abiótica e Depleção da camada de ozono (à semelhança do frigorífico em estudo) e nas categorias de Depleção Abiótica (Combustíveis fósseis) e Toxicidade Humana. Apesar do estudo realizado no *Equador* analisar algumas categorias diferentes às desta

dissertação, conclui-se que, para o frigorífico desse estudo, a Respiração Inorgânica, Depleção Abiótica (Combustíveis fósseis) e Toxicidade Humana são as categorias com maior impacto.

Finalmente, é complexo concluir qual o frigorífico com menor impacto ambiental, uma vez que a presente dissertação analisa um frigorífico de uso comercial e industrial, enquanto que os estudos bibliográficos revistos focam frigoríficos domésticos. Para além desta diferença, também se realça que são analisadas diferentes categorias de impacto ambiental e fases do ciclo de vida que dificultam uma comparação precisa entre os vários resultados.

## 5.2 IDENTIFICAÇÃO DE MEDIDAS DE PREVENÇÃO E AÇÕES PARA DIMINUIR O IMPACTE AMBIENTAL

Nesta secção pretende-se procurar sugestões de melhoria que permitam diminuir o impacto ambiental associado à produção do frigorífico ARV400 SC PV Softline. Em geral, as oportunidades de melhoria podem abranger o *design* do equipamento, materiais utilizados, processos de fabricação e transporte.

Relativamente à fabricação do equipamento, numa primeira abordagem pode-se repensar o *design* do mesmo, de forma a reduzir o consumo de materiais, como por exemplo através da substituição das chapas de aço, que constituem o armário, por outro material ou metal. Considerando que a espuma de poliuretano é grande contribuidora do impacto ambiental, é importante que sejam utilizados isolantes térmicos mais ambientalmente amigáveis como por exemplo, a cortiça. Atualmente, existem painéis constituídos por placas de gesso e aglomerado de cortiça expandida que podem garantir o isolamento térmico ao frigorífico [70], [71].

Outra abordagem possível poderia ser a de instalar painéis fotovoltaicos na fábrica e, desta forma, ser mais independente do consumo de energia elétrica da rede nacional e, conseqüentemente, diminuir a queima dos combustíveis fósseis.

Ainda que o impacto ambiental da etapa de transporte seja reduzido, a empresa poderia optar por um fornecedor da porta de vidro que seja nacional e assim diminuir o trajeto e, conseqüentemente, os impactos associados ao transporte desse material.

Finalmente, a empresa poderia trabalhar numa lógica de "simbiose industrial" com outras empresas parceiras, envolvendo a troca de materiais, energia e subprodutos de diversas naturezas, mas também abrangendo a partilha de serviços como transporte, logística, utilidades, gestão de resíduos, entre outros, gerando assim vantagens ambientais e económicas. Por exemplo, o veículo que transporta os acessórios pode ser partilhado com materiais que sejam fabricados na mesma zona e utilizados por outras empresas, diminuindo não só o impacto ambiental associado a esse transporte, mas também os custos económicos.



## 6. LIMITAÇÕES, CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

Na presente dissertação foi caracterizado e avaliado o ciclo de vida do frigorífico ARV400 SC PV Softline, fabricado pela empresa Olitrem S.A., com consequente análise dos resultados obtidos.

Para este estudo foram analisadas as etapas de extração e produção dos recursos, produção dos componentes, fabricação, transporte interno e externo e utilização. Seguindo a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida, procedeu-se à inventariação dos dados referentes a cada uma das etapas incluídas no sistema, com base na identificação e quantificação das emissões de poluentes e consumo de recursos naturais associados. Através do uso do *software SimaPro* versão 8.5.2 (*Pré Consultants*, 2017) e da metodologia de avaliação de impactes *CML-IA baseline* (versão 3.04), foi possível avaliar o potencial impacte global do equipamento para as onze categorias de impacte.

Desta forma, conclui-se que a etapa de utilização foi a que apresentou maiores contribuições para as onze categorias de impacte, nomeadamente a Depleção Abiótica, Depleção Abiótica (combustíveis fósseis), Aquecimento Global (100 anos), Depleção da camada de ozono, Toxicidade Humana, Ecotoxicidade em água doce, Ecotoxicidade marinha, Ecotoxicidade terrestre, Oxidação Fotoquímica, Acidificação e Eutrofização. A fonte que está na base de contribuição desta etapa é o consumo de energia elétrica associado à utilização do frigorífico durante o seu tempo de vida, estimado em 10 anos.

A etapa de extração e produção dos recursos foi a segunda maior contribuidora para as seguintes categorias de impacte Depleção Abiótica e Depleção da camada de ozono. O líquido de refrigeração R134a é o principal responsável pelo grande impacte na categoria de Depleção da camada de ozono, enquanto que as chapas galvanizadas são as principais responsáveis pelo grande impacte na categoria de Depleção abiótica devido à extração de recursos naturais para a fabricação das chapas. Em geral, as maiores fontes de poluentes associadas a esta etapa são as chapas galvanizadas, chapas plastificadas com PVC, porta de vidro, líquido de refrigeração e espuma de poliuretano.

As etapas com menor impacte ambiental são a fabricação, o transporte e a produção dos componentes. No que diz respeito à fabricação, as principais fontes de poluentes são a fabricação do compressor, a energia elétrica associada à injeção de espuma de poliuretano e a produção da caixa de cartão (à exceção da categoria de Depleção Abiótica, onde a etapa de fabricação contribui significativamente ao impacte ambiental global do equipamento).

Relativamente ao transporte, este apresenta, em cada uma das etapas, reduzidas contribuições associadas às emissões geradas pela queima do combustível. Por último, na produção dos componentes, verifica-se, em todas as etapas, maior impacto ambiental na termoformação dos plásticos do que na conformação metálica.

Analisando as diferentes etapas e resultados, conclui-se que existem várias abordagens que podem ser implementadas pelo produtor, de forma a contribuir à prevenção e diminuição dos impactos ambientais do frigorífico, tornando-o assim mais sustentável. Estas abordagens estão relacionadas com o *design* do equipamento, por exemplo na substituição das chapas metálicas por outro material ou metal, a substituição da espuma de poliuretano por outro material como a cortiça, a instalação de painéis fotovoltaicos na fábrica e a cooperação com outras empresas numa lógica de simbiose industrial.

Ao longo deste trabalho foram encontradas algumas limitações que estão essencialmente associadas à indisponibilidade de informação. Por exemplo, na etapa de extração e produção dos recursos, houve dificuldade em recolher informação que possibilitasse conhecer como são produzidos determinados componentes, nomeadamente as chapas de aço plastificado, prateleiras, porta de vidro, ventoinha, motoventilador, condensador e peças metálicas (calço da dobradiça, reforço para o sistema de iluminação LED, reforço da dobradiça, reforço exterior da dobradiça, reforço interior do ventilador e reforço do motor). Para o líquido de refrigeração R600a não foram encontradas informações na bibliografia ou nas bases de dados do *software* que permitissem avaliar seus impactos ambientais. Por este motivo, foi necessário realizar uma análise.

Em relação a possíveis recomendações para um trabalho futuro, estas passarão por realizar um estudo sobre os impactos ambientais do líquido de refrigeração R600a e quantificar o impacto deste componente no frigorífico em estudo, aplicar a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida ao frigorífico em que seja incluída a produção dos materiais que foram excluídos (evaporador, condensador, entre outros) e as atividades de fim de vida, ou aplicar a metodologia a outros modelos de frigoríficos, de forma a comparar os seus impactos ambientais.

Finalmente, espera-se que a presente dissertação seja útil para o produtor na tomada de decisões a nível ambiental e para definir estratégias de *marketing* comercial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] T. McCue, "24 Electronic Products Per Household -- Got Recycling?," 2013.
- [2] F. Cucchiella, I. D'Adamo, S. C. Lenny Koh, and P. Rosa, "Recycling of WEEEs: An economic assessment of present and future e-waste streams," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 51, pp. 263–272, 2015.
- [3] C. P. Balde, V. Forti, V. Gray, R. Kuehr, and P. Stegmann, *The global e-waste monitor 2017*. 2017.
- [4] G. Gaidajis, K. Angelakoglou, and D. Aktsoğlu, "E-waste: Environmental problems and current management," *J. Eng. Sci. Technol. Rev.*, vol. 3, no. 1, pp. 193–199, 2010, doi: 10.25103/jestr.031.32.
- [5] Eurostat - Statistics Explained, "Waste statistics - electrical and electronic equipment - Statistics Explained," 2019. [Online]. Available: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste\\_statistics\\_-\\_electrical\\_and\\_electronic\\_equipment#EEE\\_put\\_on\\_the\\_market\\_and\\_WEEE\\_collected\\_in\\_the\\_EU](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics_-_electrical_and_electronic_equipment#EEE_put_on_the_market_and_WEEE_collected_in_the_EU). [Accessed: 01-Apr-2020].
- [6] "WEEECYCLE - Associação de Produtores de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos," 2020.
- [7] "Olitrem S.A., Indústria de refrigeração," 2020.
- [8] StEP Initiative, "What is e-waste?," 2019. [Online]. Available: <http://www.step-initiative.org/e-waste-challenge.html>. [Accessed: 28-Feb-2020].
- [9] D. Torres *et al.*, "Sustainable management of waste electrical and electronic equipment in Latin America," 2016.
- [10] Decreto - Lei nº 152-D/2017. *Diário da República n.º 236/2017, 2º Suplemento, Série I de 2017-12-11*. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Lisboa. .
- [11] Agência Portuguesa do Ambiente, "Resíduos de Equipamento Elétrico e Eletrónico," 2020. [Online]. Available: <https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=197&sub3ref=290>. [Accessed: 28-Feb-2020].
- [12] Decreto - Lei nº 79/2013. *Diário da República n.º 111/2013, Série I de 2013*. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Lisboa. .
- [13] World Health Organization, "Electronic waste," 2019. [Online]. Available: <https://www.who.int/ceh/risks/ewaste/en/>. [Accessed: 29-Feb-2020].
- [14] C. Ferreira, "Análise da estrutura de mercado de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos – REEE em Portugal," Dissertação em Mestrado em Economia Industrial e de Empresa. Universidade do Minho, 2015.
- [15] Veolia Portugal, "Equipamentos elétricos e eletrónicos," 2020. [Online]. Available: <https://www.veolia.pt/solucoes/equipamentos-eletricos-e-eletronicos>. [Accessed: 13-Apr-2020].
- [16] R. Franco and L. Lange, "Estimativa do fluxo dos resíduos de equipamentos eletrônicos e eletrônicos no município de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil," *Eng. Sanit. e Ambient.*, vol. 16, no. 1, 2011, doi: 10.1590/S1413-41522011000100011.
- [17] J. Huisman, "( W ) EEE Mass balance and market structure in Belgium," United Nations University, Institute for Sustainability and Peace, The Netherlands, 2013.

- [18] Porto Editora, “Frigorífico.” [Online]. Available: [https://www.infopedia.pt/\\$frigorifico](https://www.infopedia.pt/$frigorifico). [Accessed: 29-Feb-2020].
- [19] Cais da Memória, “Invenção do Frigorífico,” 2018. [Online]. Available: <https://ocaisdamemoria.com/2018/07/15/invencao-do-frigorifico/>. [Accessed: 29-Feb-2020].
- [20] F. Fernandes, “Funcionamento de um Frigorífico,” 2010. [Online]. Available: <http://fernandesfrancisco.blogspot.com/2010/12/funcionamento-de-um-frigorifico.html>. [Accessed: 29-Feb-2020].
- [21] N. Sforza, “How Does a Refrigerator Work?,” 2017. [Online]. Available: <https://www.realsimple.com/food-recipes/tools-products/appliances/how-does-refrigerator-work>. [Accessed: 29-Feb-2020].
- [22] V. Gallego and W. Muller, “Sustainability Impact Assessment of a Refrigerator,” Aalen University, 2010.
- [23] Portal do electrodoméstico, “Quais os vários tipos e modelos de frigoríficos,” 2009. [Online]. Available: <http://www.portaldoelectrodomestico.com/DicasÚteis/Quaisosváriosostiposemodelosdefrigoríficos/tabid/2506/Default.aspx>. [Accessed: 29-Feb-2020].
- [24] Relatório do Estado do Ambiente, “Instrumentos de gestão ambiental,” 2020. [Online]. Available: <https://rea.apambiente.pt/content/instrumentos-de-gestão-ambiental>. [Accessed: 05-Mar-2020].
- [25] The 9000 Store, “Who is ISO? (International Organization for Standardization),” 2020. [Online]. Available: <https://the9000store.com/articles/who-is-iso/>. [Accessed: 05-Mar-2020].
- [26] ISO - International Organization for Standardization, “ISO 14040: 2006 - Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e Enquadramento,” International Organization for Standardization. Geneve, Switzerland, 2006.
- [27] ISO - International Organization for Standardization, “ISO 14044 : 2006 - Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requires and Guidelines,” International Organization for Standardization. Geneve, Switzerland, 2006.
- [28] B. Neto, “Ferramentas de Decisão Ambiental,” Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2018.
- [29] D. Granda, “Determinación de los impactes ambientales producto de la implementación de la sustitución de 33000 refrigeradoras ineficientes a nivel nacional por refrigeradoras clasificadas como clase A de eficiencia energética,” Tesis en Ingeniería Mecánica. Escuela Politécnica del Ejército, 2012.
- [30] R. Xiao, Y. Zhang, X. Liu, and Z. Yuan, “A life-cycle assessment of household refrigerators in China,” *J. Clean. Prod.*, vol. 95, pp. 301–310, 2015, doi: 10.1016/j.jclepro.2015.02.031.
- [31] R. Helling and V. Parenti, “ENERG-ICE, a new polyurethane foam technology for the cold appliance industry,” 2013.
- [32] J. Sandoval, “Evaluación de sustentabilidad de una puerta utilizada en un refrigerador,” Tesis en Ingeniería Mecánica. Universidad Nacional Autónoma de México, 2014.
- [33] Thinkstep, “Eco-Indicator 99,” 2020. [Online]. Available: <http://www.gabi-software.com/support/gabi/gabi-lcia-documentation/eco-indicator-99/>. [Accessed: 29-Feb-2020].
- [34] Thinkstep, “CML 2001,” 2020. [Online]. Available: <http://www.gabi-software.com/support/gabi/gabi-lcia-documentation/cml-2001/>. [Accessed: 29-Feb-2020].
- [35] Thinkstep, “ReCiPe,” 2020. [Online]. Available: <http://www.gabi-software.com/support/gabi/gabi-lcia-documentation/recipe/>. [Accessed: 29-Feb-2020].
- [36] Thinkstep, “USEtox,” 2020. [Online]. Available: <http://www.gabi-software.com/support/gabi/gabi-lcia-documentation/usetox/>. [Accessed: 29-Feb-2020].
- [37] Thinkstep, “TRACI,” 2020. [Online]. Available: <http://www.gabi-software.com/support/gabi/gabi-lcia-documentation/traci/>. [Accessed: 29-Feb-2020].
- [38] Olitrem S.A. - Indústria de refrigeração, “História.” [Online]. Available: <https://www.olitrem.com/pt/historia/>. [Accessed: 16-Apr-2020].
- [39] WEEECYCLE - Associação de Produtores de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos, “Quem Somos.” [Online]. Available: <https://www.weecycle.pt/p407-quem-somos-pt>. [Accessed: 16-Apr-2020].
- [40] M. Aguiar, “Avaliação do ciclo de vida de uma rede para vedação,” Dissertação em Mestrado

- de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Universidade do Porto, 2011.
- [41] J. P. Lourenço, "Estudo do comportamento de varões de aço para betão obtidos através do processo "Tempcore", " Dissertação em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico de Lisboa, 2012.
- [42] F. Pedrosa, "A hidrometalurgia na recuperação de metais contidos em resíduos ricos em zinco," Dissertação em Engenharia do Ambiente. Instituto Superior Técnico de Lisboa, 2013.
- [43] Galvaza, "Processo de galvanização testado e comprovado," 2020. [Online]. Available: <https://galvaza.pt/processo-galvanizacao/>. [Accessed: 13-Jul-2020].
- [44] Eurogalva, "Galvanização ," 2020. [Online]. Available: <https://www.eurogalva.pt/galvanizacao/>. [Accessed: 13-Jul-2020].
- [45] R. S. Banegas, "Estudos em filmes formados por PVC e agentes plastificantes: estabilidade, morfologia, propriedades térmicas e mecânicas," Dissertação em Mestrado em Química. Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.
- [46] T. S. Castro, "Modelagem Quântica da Produção de PVC Catalisada por Organometálicos," Dissertação em Mestrado em Química. Universidade de Brasília, 2018.
- [47] Cebrace, "Os tipos de vidro," 2015. [Online]. Available: <https://www.cebrace.com.br/#!/enciclopedia/interna/os-tipos-de-vidro>. [Accessed: 28-Aug-2020].
- [48] T. Mata, "Comparação de processos de reutilização/reciclagem usando a metodologia de análise de ciclo de vida," Dissertação em Engenharia do Ambiente. Universidade do Porto, 1998.
- [49] P. Oliveira, "Sistema de controlo de pressão da câmara interior em vidros duplos e triplos," Relatório de Estágio em Engenharia Mecânica. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, 2015.
- [50] Infopédia, "Carbonato de sódio ." [Online]. Available: [https://www.infopedia.pt/\\$carbonato-de-sodio](https://www.infopedia.pt/$carbonato-de-sodio). [Accessed: 13-Jul-2020].
- [51] Poliversal, "Poliestireno." [Online]. Available: <http://www.poliversal.pt/pt/landing-pages/tipos-de-plasticos/ps---polystyrene-poliestireno-polystyrne-37.html>. [Accessed: 13-Jul-2020].
- [52] Resinex, "Poliestireno," 2020. [Online]. Available: <https://www.resinex.pt/produtos/styron.html>. [Accessed: 13-Jul-2020].
- [53] Innova, "Poliestireno de alto impacto (HIPS) ," 2019. [Online]. Available: <https://innova.com.br/poliestireno-alto-impacto-hips/>. [Accessed: 13-Jul-2020].
- [54] F. Jacques, "Mercado Brasileiro de poliestireno com ênfase no setor de eletrodomésticos," Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.
- [55] Agency for toxic substances and disease registry - Division of toxicology and health human sciences, "1,3-Butadiene - ToxFAQs™ .," 2012.
- [56] Total - Research & Technology Feluy, "POLYSTYRENE IMPACT 8260," 2013.
- [57] Dagol, "Poliestireno alto impacto HIPS |," 2016. [Online]. Available: <https://www.dagol.com/portfolio-item/poliestireno-alto-impacto-hips/>. [Accessed: 13-Jul-2020].
- [58] A. Valente, "Desenvolvimento de poliuretanos com desempenho térmico inovador," Dissertação em Mestrado em Engenharia Química. Universidade de Aveiro, 2012.
- [59] W. Castigli, "O efeito da água como agente de expansão em algumas propriedades mecânicas de espumas rígidas de poliuretano," Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, 2003.
- [60] Poliuretanos, "Formação da espuma rígida." [Online]. Available: <https://poliuretanos.com.br/Cap5/52Formacao.htm>. [Accessed: 28-Aug-2020].
- [61] M. Soares, "Síntese e caracterização de espumas de poliuretano para imobilização de células íntegras e aplicação na síntese de biodiesel," Dissertação em Mestrado Engenharia Química. Universidade de São Paulo, 2012.
- [62] Apetro, "Os GPL: Gases de Petróleo Liquefeitos," 2020. [Online]. Available: <https://www.apetro.pt/comunicacao/informacoes/inf-10-os-gpl-gases-de-petroleo-liquefeitos/1341>. [Accessed: 29-Aug-2020].
- [63] Portal de Laboratórios Virtuais de Processos Químicos, "Química- Caso de Estudo." [Online]. Available: [http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com\\_content&task=view&id=224&Itemid=415](http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com_content&task=view&id=224&Itemid=415). [Accessed: 29-Aug-2020].

- [64] S. Batista, “Aumento da capacidade de produção de polietileno de baixa densidade,” Dissertação em Mestrado em Engenharia Química. Universidade de Aveiro, 2012.
- [65] L. Barbosa, A. Dreger, E. Schneider, F. Morisso, and R. Santana, “Polietileno de baixa densidade - PEBD: mercado, produção, principais propriedades e aplicações,” *Espacios*, vol. 38, 2017.
- [66] D. Santos, “Gestão de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos - Proposta de Modelo Integrado de Operação,” Dissertação em Mestrado em Engenharia do Ambiente. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 2014.
- [67] Linde Gás, “R134a,” 2020. [Online]. Available: [https://www.linde-gas.com/en/products\\_and\\_supply/refrigerants/hfc\\_refrigerants/r134a/index.html](https://www.linde-gas.com/en/products_and_supply/refrigerants/hfc_refrigerants/r134a/index.html). [Accessed: 03-Sep-2020].
- [68] Linde Gás, “R600a | Isobutane,” 2020. [Online]. Available: [https://www.linde-gas.com/en/products\\_and\\_supply/refrigerants/natural\\_refrigerants/r600a\\_isobutane/index.html](https://www.linde-gas.com/en/products_and_supply/refrigerants/natural_refrigerants/r600a_isobutane/index.html). [Accessed: 19-Aug-2020].
- [69] A.-A. de E. Renováveis, “APREN - Produção de Energia Elétrica,” 2020. [Online]. Available: <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/producao>. [Accessed: 07-Sep-2020].
- [70] Grōwancork, “Grōwancork,” 2020. [Online]. Available: <https://www.growancork.com/sobre-nos/>. [Accessed: 12-Sep-2020].
- [71] The next big idea, “Há uma coisa nestes frigoríficos em que não repara, mas que faz a diferença: cortiça,” 2018. [Online]. Available: <https://thenextbigidea.pt/stories/ha-uma-coisa-nestes-frigorificos-em-que-nao-repara-mas-que-faz-a-diferenca-cortica>. [Accessed: 12-Sep-2020].

# ANEXOS

# **ANEXO A**

## **ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO FRIGORÍFICO**



Na Figura A-1 apresentam-se as dimensões do frigorífico ARV400 SC PV Softline fabricado pela empresa Olitrem S.A..

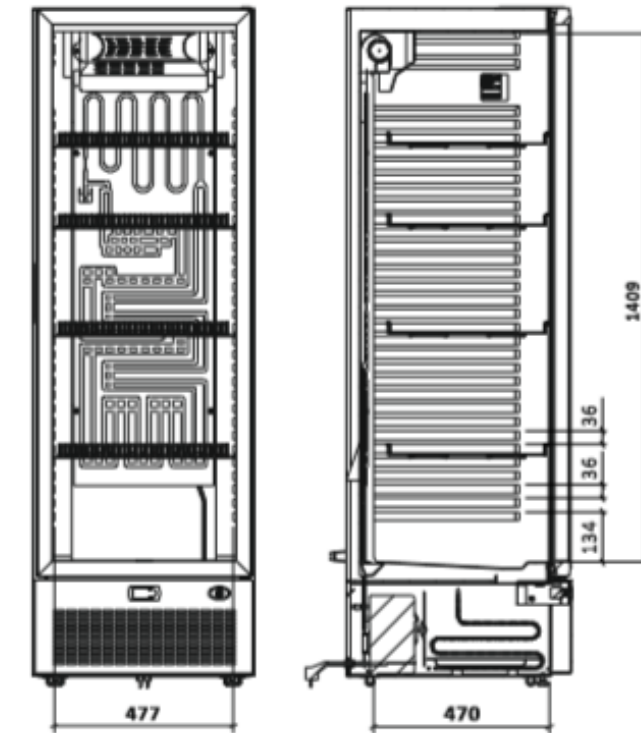


Figura A-1. Dimensões do armário de refrigeração [7].

# **ANEXO B**

## **MATERIAIS UTILIZADOS NA PRODUÇÃO DO FRIGORÍFICO**

Na Tabela B-1 apresentam-se os materiais utilizados na fabricação do frigorífico ARV400 SC PV Softline fabricado pela empresa Olitrem S.A..

**Tabela B-1.** Materiais utilizados na produção do frigorífico [7]

<b>Materiais que conformam o frigorífico</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>
<b>Conformação metálica</b>		
Base máquina	1	unidade
Base suporte comando	1	unidade
Suporte comandos	1	unidade
Grelha traseira	1	unidade
Grelha frontal	1	unidade
Lateral direita	1	unidade
Reforço zona motor	2	unidade
Teto exterior	1	unidade
Suporte ventilador	1	unidade
Lateral esquerda	1	unidade
Fundo exterior	1	unidade
Painel transversal	1	unidade
Topo superior	1	unidade
<b>Termoformação dos plásticos</b>		
Espuma elastoflex preto	0,18	kg
PS bran mate	1	kg
Pigmento branco MB 151	0,16	kg
Polímero HIPS total 8260	5,19	kg
Pigmento preto MB 81373	0,04	kg
Polímero HIPS total 8260	1,4	kg
PS bran mate	0,01	kg
Polímero HIPS total 8260	0,05	kg
PS bran mate	0,01	kg
Polímero HIPS total 8260	0,05	kg
PS bran mate	0,02	kg
Polímero HIPS total 8260	0,09	kg
Cuba branca	1	unidade
<b>Submontagem de interiores e exteriores</b>		
Mastique MCF 04	0,1	kg

Tabela B-1. Materiais utilizados na produção do frigorífico (cont.) [7]

<b>Materiais que conformam o frigorífico</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>
Porca cravar	10	unidade
Espuma polietileno branco	0,15	mt
Espuma poliéster branca	2,95	mt
Fita espiral branco	4,4	mt
Fita adesiva PP branco	0,5	unidade
Fita papel	0,1	unidade
PS mesclado	1	unidade
Tubo red.	0,27	mt
<b>Injeção de espuma de poliuretano</b>		
Isocianato PMDI 92140	4,05	kg
Tubo tela CF	0,01	kg
Poliol elastopor H 2000/26/LD	2,56	kg
<b>Montagem de acessórios</b>		
Condensador arame	1	unidade
Compressor EMX3118Y 220-240v 50 Hz (R600a)	1	unidade
Motoventilador 5W MFIX H072 (50/60 Hz)	1	unidade
Anilhas chapa aba larga M6	2	unidade
Anilhas mola M6	2	unidade
Abraçadeira 18R	1	unidade
Abraçadeira 30R	2	unidade
Capas CT 2002 F-6.3	1	unidade
Espuma PE preto	0,05	mt
Fita papel	0,01	unidade
Cabo de alimentação H05VV-F3G1 com 2,50 mt, tubulares e ficha	2	unidade
Parafuso 8.8R	2	unidade
Porca cravar M6 fina ranhurada	2	unidade
Porcas cravar M8 recartilhada	2	unidade
Rebite	8	unidade
Deslizador aço zincado/poliamida ac.1006	4	unidade

Tabela B-1. Materiais utilizados na produção do frigorífico (cont.) [7]

<b>Materiais que conformam o frigorífico</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>
Serra cabos preto	1	unidade
Solda de prata 30SN	0,05	unidade
Tubo cobre	0,018	kg
Terminal sto-2.5-250 nl (1112)	3	unidade
Terminal 3840-00	3	unidade
Tubo plástico cristal	0,05	mt
Ventoinhas de plástico	1	unidade
<b>Acoplamento</b>		
Anilhas chapa aba larga M6	5	unidade
Anilhas chapa aba larga M8	4	unidade
Abraçadeiras TCV- 155-0	3	unidade
Suporte pequeno Inox	1	unidade
Fita adesiva PP branco	0,01	unidade
Fita espiral	0,25	mt
Montagem tangencial TAS 18B- 233 K	1	unidade
Parafuso aço zen PBK-PF 4,2x13	9	unidade
Parafuso aço zen PBK-PF 4,2x25	11	unidade
Parafusos aço inox 4,2x19	2	unidade
Parafuso zincados (D933)	5	unidade
Parafuso 4,2x14	7	unidade
Parafuso PF PK 4,2x13	2	unidade
Parafusos aço inox 4,2x13	4	unidade
Proteção do ventilador	1	unidade
Evaporador	1	unidade
Ponteira TE - 0,50 - 470108 (branca)	2	unidade
Perfil difusor para LED	1	unidade
Tampa do perfil difusor para LED transparente	2	unidade
Suporte pivot inox inferior - DB 496	1	unidade
Tampa nylon branca	6	unidade
Tubo plástico cristal 10x13	0,05	mt
Válvulas esgoto poliamida	1	unidade
Palete de madeira	1	unidade

Tabela B-1. Materiais utilizados na produção do frigorífico (cont.) [7]

<b>Materiais que conformam o frigorífico</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>
Prego CNW 25/60 estriado	28	unidade
Madeira de pinho (réguas)	0,01	m <sup>3</sup>
<b>Montagem do circuito elétrico</b>		
Abraçadeira 18R	1	unidade
Ligador WAGO rig/flex 221-413	1	unidade
Cabo FVV 2x1 + T (branco)	2,25	mt
Cabo FVV 3x1 + T (branco)	1	mt
Capas CT 2002 F-6.3 (isolador)	2	unidade
Fio FLEX FV azul	1,9	mt
Fio FLEX FV branco	1,4	mt
Fio FLEX FV vermelho	0,6	mt
Fio FLEX FV terra	0,6	mt
Transformador para fita LED	1	unidade
Passa fios red.16	1	unidade
Ponteira TE - 470108 (branca)	2	unidade
Ponteira TE- (470308) vermelha	8	unidade
Ponteira TUO 2x1 (vermelho)	3	unidade
Sonda NTC 025HP00 - IP67 - 50T50	1	unidade
Terminal sto-2.5-250 nl (1112)	10	unidade
Terminal 3840-00 (forquilha m4 rolo)	1	unidade
Termostato	1	unidade
Suporte comandos mm 5	1	unidade
Terminal 1322/lpb -2.5-250n (duplo)	2	unidade
<b>Montagem e controlo final</b>		
Abraçadeira WL- 160 - 0	1	unidade
Autocolante cabo da alimentação	1	unidade
Aparadaeira para compressor	1	unidade
Capas CT 2002 F-6.3 (isolador)	1	unidade
Espuma elastoflex preto	0,18	mt
Filtros	1	unidade
Gás refrigerante R600a	0,08	kg
Tampão lokring	1	unidade

Tabela B-1. Materiais utilizados na produção do frigorífico (cont.) [7]

<b>Materiais que conformam o frigorífico</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>
Parafuso aço zen PBK-PF 4,2x13	2	unidade
Parafuso aço zen PBK-PF 4,2x25	2	unidade
Parafuso aço 3,9x16	6	unidade
Puxador poliamida preto	1	unidade
Solda cobre	0,02	unidade
Solda de prata 30SN	0,05	unidade
Tubo diflex	0,1	mt
<b>Limpeza</b>		
Benzina	0,164	kg
Limpa-vidros	0,00911	kg
<b>Embalagem</b>		
Etiqueta pingo marecos oval com suporte	1	unidade
Livro de instruções marecos internacional	1	unidade
Autocolante vinil seta	1	unidade
Autocolante vidro glass	1	unidade
Autocolante setas	2	unidade
Cinta PP	12	unidade
Cantoneira de cartão	2	unidade
Embalagem de cartão kraft	1	unidade
Fita adesiva preta	0,02	mt
Pés niveladores	2	unidade
Porta etiqueta oval branco	1	unidade
Autocolante pequeno do gás R600a	1	unidade
Prateleira arame reforçada	4	unidade

# **ANEXO C**

## **ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DAS CHAPAS GALVANIZADAS E DAS CHAPAS PLASTIFICADAS**



Na Tabela C-1 apresenta-se o tipo de aço, espessura, dimensões, especificação e peso de cada uma das chapas antes do corte.

Tabela C-1. Especificações das chapas antes do corte [7]

Peça	Material	Espessura (mm)	Dimensões (mm)	Especificação	Peso (kg)
Base máquina	St 37-2	1,2	2300 x 1250	Chapa galvanizada	30,13
Base suporte comando	St 37-2	1,2	2120 x 1250	Chapa galvanizada	27,12
Suporte comandos	St 37-2	1,2	2120 x 1250	Chapa galvanizada	27,77
Grelha traseira	St 37-2	0,5	2360 x 1250	Chapa galvanizada	12,88
Grelha frontal	St 37-2	0,8	2245 x 1250	Chapa plastificada	20,21
Lateral direita	St 37-2	0,6	1847 x 652	Chapa plastificada	5,42
Reforço zona motor	St 37-2	1,2	2460 x 1250	Chapa galvanizada	32,23
Teto exterior	St 37-2	0,5	*	Chapa galvanizada	*
Suporte ventilador	St 37-2	1,25	2500 x 1255	Chapa galvanizada	26,46
Lateral esquerda	St 37-2	0,6	1847 x 652	Chapa plastificada	5,42
Fundo exterior	St 37-2	0,5	2070 x 1250	Chapa galvanizada	11,30
Painel transversal	St 37-2	0,6	2195 x 1250	Chapa plastificada	12,35
Topo superior	St 37-2	0,6	2370 x 1250	Chapa plastificada	13,33

\* Peça produzida a partir de sucata

Na Tabela C-2 apresenta-se a máquina utilizada e tempo de corte, dimensões, peso e quantidade de peças produzidas após o corte, assim como a quantidade de peças necessárias para produzir um frigorífico.

Tabela C-2. Especificações das peças depois do corte [7]

Peça	Máquina utilizada	Tempo de corte (min)	Dimensões da peça (mm)	Número de peças após o corte	Quantidade de peças por frigorífico	Peso (kg)
Base máquina	OLITREM FINN- POWER SG6	0,93	570 x 600	8	1	3,58
Base suporte comando	OLITREM FINN- POWER SG6 BIF 3_3	0,65	410 x 222	25	1	0,95
Suporte comandos	OLITREM FINN- POWER SG6 BIF 3_3	0,95	210 x 470	20	1	1,03
Grelha traseira	OLITREM FINN- POWER SG6 BIF 3_3	1,12	582 x 260	18	1	0,66
Grelha frontal	OLITREM FINN- POWER SG6 BIF 3	1,12	738 x 351	9	1	1,87
Lateral direita	OLITREM FINN-POWER Express A5	0,74	1847 x 652	1	1	5,42
Reforço zona motor	OLITREM FINN- POWER SG6	0,89	611 x 295	16	2	1,90
Teto exterior	Guilhotina	0,59	584 X 410	1	1	0,93
Suporte ventilador	OLITREM FINN- POWER SG6 BIF 3	0,13	285 x 100	84	1	0,30
Lateral esquerda	OLITREM FINN-POWER Express A5	0,74	1847 x 652	1	1	5,42
Fundo exterior	OLITREM FINN- POWER SG6 BIF 3	0,59	510 x 414	12	1	0,92
Painel transversal	OLITREM FINN- POWER SG6 BIF 3	1,34	544 x 239	20	1	0,59
Topo superior	OLITREM FINN- POWER SG6 BIF 3	1,34	584 x 238	20	1	0,63

# **ANEXO D**

## **TRANSPORTE DOS MATERIAIS**

Na Tabela D-1 apresentam-se os parâmetros necessários para a análise da etapa de transporte de cada material, nomeadamente a distância percorrida, em quilómetros, e o peso, em toneladas.

Tabela D-1. Distância percorrida para cada destino e peso do material

Base de dados	Distância percorrida para cada destino (km)	Peso do material (ton)
Transporte das chapas de aço plastificado desde o fornecedor até à Olitrem (Terrestre)	76,80	0,0139
Transporte das chapas galvanizadas desde o fornecedor até à Olitrem (Terrestre)	88,88	0,0122
Transporte da porta de vidro desde o fornecedor até à Olitrem (Terrestre)	2910,18	0,019
Transporte do gás de refrigeração desde o fornecedor até à Olitrem (Terrestre)	74,31	0,000080
Transporte da espuma de poliuretano desde o fornecedor até à Olitrem (Terrestre)	72,20	0,00661
Transporte do compressor desde o fornecedor até à Olitrem (Terrestre)	1502,95	0,011
Transporte da ventoinha desde o fornecedor até à Olitrem (Terrestre)	716,70	0,0001
Transporte do montovertilador desde o fornecedor até à Olitrem (Terrestre)	203,23	0,0015
Transporte do condensador desde o fornecedor até à Olitrem (Terrestre)	141,96	0,002
Transporte das quatro prateleiras desde o fornecedor até à Olitrem (Terrestre)	141,96	0,070
Transporte de sucata desde a Olitrem até à empresa de reciclagem (Terrestre)	33,12	0,00123